



SKRIPSI – TK141581

**STUDI PEMANFAATAN SAMPAH KOTA
MENJADI ENERGI TERBARUKAN LISTRIK
- BIOGAS**

Oleh:

**Muhammad Fadlan Minallah
NRP 2311100156**

Dosen Pembimbing:

**Fadlilatul Taufany, S.T., Ph.D.
NIP. 198107132005011001**

**Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.S.
NIP. 195108041974121001**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



FINAL PROJECT – TK141581

**STUDY OF THE UTILIZATION OF URBAN
WASTE CONVERSION INTO RENEWABLE
ENERGY ELECTRICAL - BIOGAS**

Proposed by:
Muhammad Fadlan Minallah
NRP 2311100156

Research Advisor:
Fadlilatul Taufany, S.T., Ph.D.
NIP. 198107132005011001

Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.S.
NIP. 195108041974121001

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2017**

STUDI PEMANFAATAN SAMPAH KOTA MENJADI ENERGI TERBARUKAN BIOGAS - LISTRIK

Nama : Muhammad Fadlan Minallah
NRP : 2311100156
Pembimbing : 1. Fadlilatul Taufany, S.T., Ph.D.
2. Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.S.

ABSTRAK

Kebutuhan energi dunia terutama yang bersumber pada bahan bakar fosil di dunia semakin meningkat seiring dengan perkembangan peradaban manusia. Namun berbanding terbalik dengan cadangan energi fosil tersebut, sehingga perlu adanya pengembangan penelitian mengenai energi terbarukan. Salah satu energi terbarukan alternatif tersebut adalah pemanfaatan biogas. Biogas merupakan produk akhir/degradasi anaerobik oleh bakteri methanogen. Ada dua langkah yang dilakukan pada proses produksi biogas, yaitu persiapan starter dan proses produksi biogas. Pertama, starter yang digunakan adalah kotoran sapi sebanyak 200 kg (39% massa total starter) ditambah air sebanyak 300 kg (59% massa total starter) dan sampah sayuran sebanyak 10 kg (2% massa total starter). Setelah terbentuk gas yang sudah dapat dibakar (kandungan CH_4 diatas 40%), dimasukkan feed sampah sayuran seberat 200 kg (40% massa total feed) yang dicampur dengan air sebanyak 300 kg (60% massa total feed). Biogas yang dihasilkan oleh feed kemudian dipurifikasi untuk menghilangkan pengotor yang terkandung di dalam biogas demi memperoleh spesifikasi *pipeline gas*. Setelah itu dilakukan tes untuk mengetahui *load* maksimal generator menggunakan *load bank test*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengamati produk biogas yang dihasilkan dari fermentasi anaerobik dengan feed sampah sayuran untuk memaksimalkan potensi kebermafaatan sampah sayuran kota sebelum menjadi pupuk kompos, menganalisis

secara ekonomi proses purifikasi dan dehidrasi untuk menghasilkan efisiensi *overall* generator listrik, menganalisis efek pemanasan pada proses purifikasi, dan menganalisis *load* maksimal generator yang digunakan pada berbagai macam beban pada *load bank test*.

Hasil dari penelitian ini adalah biogas dengan komposisi CH₄ sebesar 46,45%, CO₂ 22,87%, dan sisanya merupakan campuran gas (O₂, N₂, CO, H₂ dan H₂S) sebesar 30,68% dengan produksi biogas/kg feed sebesar 0,04852 Nm³/kg feed (0,4013 Nm³/kg COD *feed*). Dari proses purifikasi, biogas terpurifikasi dengan NaOH 0,5 N dan dengan perbandingan L/G=1:12,5 dengan pemanasan memiliki % *removal* CO₂ terbesar, yakni 94,88%, sedangkan biogas terpurifikasi dengan NaOH 0,5N dan dengan perbandingan L/G=1:12,5 dengan proses pemanasan memiliki nilai yang ekonomis karena harga *unit operation cost* cukup rendah, yaitu sebesar Rp 4.163,63/ liter CO₂ terabsorpsi. Setelah proses purifikasi, dihasilkan biogas dengan komposisi CH₄ sebesar 82,7%, CO₂ 2,01%, dan sisanya merupakan campuran gas (O₂, N₂, CO, H₂ dan H₂S) sebesar 15,29%. Berdasarkan percobaan *load bank test*, didapatkan potensi yang dapat dihasilkan untuk 4,773073 mol biogas adalah 3222,582 kJ dengan efisiensi sebesar 36%.

Kata kunci: Sampah Kota, Biogas, Purifikasi, Dehidrasi, dan Listrik.

STUDY OF THE UTILIZATION OF URBAN WASTE CONVERSION INTO RENEWABLE ENERGY ELECTRICAL - BIOGAS

Name : Muhammad Fadlan Minallah
NRP : 2311100156
Adviser : 1. Fadlilatul Taufany, S.T., Ph.D.
2. Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.S.

ABSTRACT

The world's energy needs are sourced primarily on fossil fuels in the world is increasing along with the development of human civilization. It is inversely proportional to the fossil energy reserves. Therefore, there is the more the need of research on the development of renewable energy. One such alternative renewable energy is the utilization of biogas. Biogas is the end product of anaerobic degradation by methanogen bacteria. There are two steps in production of biogas, preparation of starter and production of biogas. First, 200 kg cow dung (39% of total starter mass), 300 kg water (59% of total starter mass), and 10 kg organic waste (2% of total starter mass) used to be starter. After the starter produced flammable gas (CH_4 content more than 40% of total volume), organic waste feed (200 kg, 40% of total feed mass) and water (300 kg, 60% of total feed mass) was put into digester. The produced biogas was purified for eliminate polluter for reach the pipeline specification. After that, the biogas is tested to determine maximum load of generator using load bank test.

This study aims to observe the products of biogas produced from anaerobic fermentation with organic waste feed to maximize the potential municipal city waste before it becomes compost manure, to analyze the economics of the process of purification and dehydration to produce efficient overall electrical generator, to analyze the heat effects during purification process, and to analyze the maximum load generator used in a wide variety of load in load bank test.

Results from this study are biogas was producing CH₄ by 46.45%, CO₂ by 22.87%, and the remaining gas (O₂, N₂, CO, H₂, and H₂S) by 30,68% with produced biogas/kg feed was 0.04013 Nm³/kg feed (0.4013 Nm³/kg COD feed). From the purification process, purified biogas with NaOH solution 0,5N and the ratio L/G=1:12.5 with heating has the biggest % *removal* CO₂, which is 94.88%, while the purified biogas with NaOH solution 0,5N and the ratio L/G = 1: 12.5 with heating has economic value because it has quite low cost of operation units, Rp4.163.63 / liter CO₂ absorbed. After the purification process, generated biogas has composition CH₄ by 82.7%, CO₂ by 2.01%, and the remaining gas (O₂, N₂, CO, H₂, and H₂S) by 15.29%. Based on load bank test, energy potential energy that can be used for 4,773073 moles biogas is 3222,582 kJ with 36% efficiency.

Keywords: Municipal Solid Waste, Biogas, Purification, Dehydration, and Electricity.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur Penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul:

“STUDI PEMANFAATAN SAMPAH KOTA MENJADI ENERGI TERBARUKAN LISTRIK-BIOGAS”

Laporan skripsi ini disusun untuk melengkapi persyaratan penelitian skripsi dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada bidang Studi S1 Teknik Kimia di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pada kesempatan ini dengan kerendahan hati Penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga Penulis yang telah memberikan segalanya yang tak mungkin tercantumkan dalam tulisan ini.
2. Bapak Fadlilatul Taufany, ST., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing 1, Bapak Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.S., selaku Dosen Pembimbing 2 serta Kepala Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa, dan Bapak Prof. Dr. Ir. Nonot Soewarno, M.Eng., selaku Guru Besar Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran, bimbingan, saran dan dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir Penulis.
3. Ibu Ir. Nuniek Hendrianie, M.T. selaku Dosen Penguji dari tugas akhir skripsi ini, serta Dosen Wali bagi Penulis di Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS yang telah memberikan semangat dan masukan untuk menjadi pribadi yang semakin lebih baik lagi
4. Bapak Dr. Ir. Susianto, DEA dan Ibu Dr. Eva Oktavia Ningrum, S.T., M.S. selaku Dosen-dosen Penguji atas segala masukan dan kritikan untuk menjadikan laporan skripsi ini semakin lebih baik.

5. Bapak Juwari, S.T., M.Eng. Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia FTI - ITS
6. Bapak dan Ibu Dosen Pengajar serta seluruh staff jurusan Teknik Kimia FTI – ITS
7. Rekan – rekan mahasiswa Teknik Kimia ITS angkatan 2011 (K51) yang senantiasa memberikan dukungan dalam pengerjaan proposal skripsi ini.
8. Rekan – rekan Laboratorium Perpanmas 15/16 tercinta atas dukungan dan bantuannya selama penyusunan laporan skripsi Penulis
9. Semua pihak yang telah membantu merajut kelengkapan dari laporan ini yang tidak dapat Penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih jauh dari sempurna, namun, Penulis tetap berharap semoga penelitian dalam skripsi ini dapat bermanfaat. Amin.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PEMANFAATAN SAMPAH KOTA MENJADI ENERGI TERBARUKAN LISTRIK – BIOGAS

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kimia
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Muhammad Fadlan Minallah NRP : 2311100156

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Fadlilatul Taufany, S.T., Ph.D. (Pembimbing I)
2. Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.S. (Pembimbing II)
3. Ir. Nuniek Hendrianie, M.T. (Penguji I)
4. Dr. Ir. Susianto, DEA (Penguji II)
5. Dr. Eva Oktavia Ningrum, S.T., M.S. (Penguji III)



Surabaya
Januari, 2017

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Abstract	iii
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Batasan Masalah	4
I.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Sampah Sayuran sebagai Feed Pembentukan Biogas	5
II.2 Prinsip Dasar Pembentukan Biogas dari Bahan Organik	5
II.3 Karbondioksida (CO_2)	8
II.4 Hidrogen Disulfida (H_2S)	9
II.5 Air (H_2O)	10
II.6 Absober	10
II.7 Acid Gas Removal	12
II.8 Dehydration	13
II.9 Load Bank Test	17
II.10 Penelitian Terdahulu yang Relevan Penelitian Terdahulu yang Relevan	18
BAB III METODE PENELITIAN	
III.1 Deskripsi Penelitian	21
III.2 Bahan dan Peralatan Penelitian	21
III.2.1 Bahan Penelitian	21
III.2.2 Peralatan Penelitian	21
III.2.3 Skema Reaktor Biogas dan Alat Penelitian	24

III.3	Variabel Penelitian	26
III.4	Prosedur Penelitian	27
III.4.1	Tahap Persiapan Bahan dan Peralatan Penelitian	27
III.4.1.1	Tahap Persiapan Starter pada Tangki Digester 1100 L	27
III.4.1.2	Tahap Persiapan Feed pada Tangki Digester 1100 L	28
III.4.2	Tahap Pelaksanaan Penelitian	28
III.5	Diagram Alir Penelitian	30
III.6	Analisa Hasil	30
III.6.1	Kromatografi Gas	30
III.6.1	Analisa Orsat	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
IV.1	Persiapan Starter dan Feed untuk Proses Purifikasi	35
IV.1.1	Persiapan Feed Kotoran Sapi + Sampah Sayuran sebagai Starter pada Tangki Digester 1100 L	35
IV.1.2	Persiapan Sampah Sayuran pada Tangki Digester 1100 L	39
IV.2	Proses Purifikasi dan Dehidrasi Biogas	43
IV.2.1	Pemilihan Jenis Absorban untuk Proses Purifikasi Biogas	44
IV.2.2	Pengaruh Konsentrasi dan Rasio L/G Terhadap Hasil <i>Acid</i> Gas Removal.....	45
IV.2.3	Pengujian Hasil Purifikasi Biogas Sebagai Umpan Generator dan Diuji Menggunakan Load Bank Test	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
V.1	Kesimpulan.....	53
V.2	Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA		xv
PENJELASAN NOTASI		xvii
APPENDIKSLAMPIRAN A		A-1

LAMPIRAN B	A-2
LAMPIRAN C	A-3
RIWAYAT PENULIS	

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Jenis-Jenis Proses Acid-Gas Removal.....	13
Gambar III.1	Skema Peralatan Penelitian	22
Gambar III.2	Reaktor Biogas 1100L dan Gas Holder 650 L.....	24
Gambar III.3	Skema Reaktor Biogas 1100 L.....	24
Gambar III.4	Gambar Alat Pencacah Sampah Sayuran dan Motor Penggerak.....	25
Gambar III.5	Gambar Alat Penelitian Tampak..... Depan dan Tampak Belakang.....	26 31
Gambar III.6	Analisa Kromatografi Gas (GC-7900)	31
Gambar III.7	Gambar Skema Analisa Orsat dan Analisa Orsat yang Digunakan.....	32
Gambar IV.1	Laju Produksi Biogas Starter KS + Sampah Sayuran	36
Gambar IV.2	Grafik Perubahan pH pada Starter KS + Sampah Sayuran	38
Gambar IV.3	Grafik Perubahan Temperatur pada Starter KS + Sampah Sayuran.....	38
Gambar IV.4	Laju Produksi Biogas Feed Sampah Sayuran	40
Gambar IV.5	Grafik Perubahan pH pada Feed Sampah Sayuran	42
Gambar IV.6	Grafik Perubahan Temperatur pada Feed Sampah Sayuran.....	42
Gambar IV.7	Laju Produksi Biogas Starter dan Feed secara Berkelanjutan.....	43
Gambar IV.8	Laju Produksi Biogas <i>Starter</i> dan <i>Feed</i> secara Berkelanjutan	46
Gambar IV.9	Diagram Batang Pengaruh Rasio L/G dan Normalitas Terhadap % <i>removal CO₂</i> Purifikasi pada Suhu Ruangan	46

Gambar IV.10	Diagram Batang Pengaruh Rasio L/G dan Normalitas Terhadap <i>% removal CO₂</i> Purifikasi pada suhu ruangan	47
Gambar IV.11	Diagram Batang Pengaruh Rasio L/G dan Normalitas terhadap Unit Operation Cost Purifikasi dengan Pemanasan	48
Gambar IV.12	Grafik Hasil <i>Load Bank Test</i> Biogas Terpurifikasi dengan Konsentrasi 0,5 N dan Rasio L/G = 1:12,5	50

DAFTAR TABEL

Tabel I.1	Sampah di Kota Surabaya	2
Tabel II.1	Kelebihan dan Kekurangan Proses Anaerob ...	6
Tabel II.2	Spesifikasi Batas Konsentrasi Gas Karbondioksida Dalam Proses Industri	9
Tabel II.3	<i>Glycol</i> untuk Dehidrasi	14
Tabel II.4	Sifat <i>Activated</i> Alumina	15
Tabel II.5	Sifat Silika Gel	16
Tabel II.6	Sifat <i>Molecular Sieves</i>	17
Tabel II.7	Daftar Peneliti Biogas	18
Tabel IV.1	Kadar COD Awal Sampah Sayuran setelah Pencacahan, KS, setelah Pencampuran, dan setelah 21 Hari Fermentasi	36
Tabel IV.2	Kadar Biogas Awal dari Starter Kotoran Sapi + Sampah Sayuran Sebelum Purifikasi.....	37
Tabel IV.3	Kadar COD Awal Sampah Sayuran setelah Pencacahan, setelah Pencampuran, dan setelah 28 Hari Fermentasi	39
Tabel IV.4	Kadar Biogas Awal dari Feed Sampah Sayuran Sebelum Purifikasi	41
Tabel IV.5	Tabel % <i>removal CO₂</i> dari <i>Acid Gas Removal</i> Menggunakan Alat Analisa Orsat	44
Tabel IV.6	Kadar Biogas Awal dari Sampah Sayuran Setelah Purifikasi	49
Tabel IV.7	Efisiensi Biogas Terpurifikasi dengan Konsentrasi NaOH 0,5 N dan Rasio L/G=1:12,5	51

(halaman sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pada saat ini, Indonesia telah menjadi negara pengimpor minyak. Hal ini disebabkan karena semakin tingginya selisih antara ekspor dan impor minyak. Di samping itu, kapasitas produksi nasional dalam beberapa tahun terakhir terus menerus mengalami penurunan. Data yang tercantum pada situs resmi pemerintah Indonesia menunjukkan bahwa produksi minyak hanya 958 ribu barel per hari sedangkan kebutuhan minyak lebih dari 1 juta barel per hari. Rendahnya produksi minyak ini akan menjadikan posisi Indonesia sebagai negara pengimpor minyak tidak hanya untuk saat ini, tetapi juga untuk saat yang akan mendatang.

Berdasarkan data di atas, perlu dipikirkan usaha dalam pencarian dan penggunaan sumber energi alternatif, terutama yang dapat diperbarui. Ada berbagai macam energi yang dapat diperbarui, salah satunya adalah biogas. Biogas telah lama dikembangkan dan dapat dibuat dari berbagai macam limbah organik melalui proses penguraian secara anaerobik.

Ada berbagai macam bahan baku pembuatan biogas, seperti limbah peternakan yang terdiri dari kotoran ternak, limbah pertanian yang berupa jerami, limbah perairan yang berupa eceng gondok, dan sampah organik dari sisa rumah tangga dan pasar. Data sampah yang diolah di tempat pembuangan akhir kota Surabaya ternyata cukup besar seperti yang tercantum di tabel 1.1. Jumlah sampah tersebut akan semakin membebani tempat pembuangan sampah sehingga perlu dilakukan usaha pengolahan sampah.

Tabel 1.1 Sampah di Kota Surabaya

Tahun	Jumlah Sampah di Tempat Pembuangan Akhir Kota Surabaya (ton/hari)
2011	1.150,02
2012	1.276,76
2013	1.394,22

Sumber: Informasi Laporan Penyelenggaraan Pemerintah Daerah (ILPPD) Tahun 2011, 2012, dan 2013

Penelitian ini dilakukan sebagai salah satu usaha untuk mengurangi jumlah sampah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir, yaitu dengan memfermentasi sampah menjadi biogas. Pada penelitian sebelumnya, hasil biogas yang didapat oleh Corral et. al. dalam penelitian skala pilot menunjukkan bahwa produksi biogas rata-rata sebesar 62 m³ metana/ton kotoran sapi kering untuk bahan baku kotoran sapi, 37 m³ metana/ton sampah kering untuk bahan baku sampah organik, dan 172 m³ metana/ton sampah kering untuk bahan baku campuran kotoran sapi dan sampah organik. Dengan mengambil data hasil biogas untuk bahan baku campuran sampah organik dan kotoran sapi yaitu sebesar 172 m³ metana/ton sampah kering, dengan nilai bakar metana sebesar 8,96 mcal/m³, maka dengan permisalan bahan baku sebanyak 250 ton/hari, akan diperoleh nilai bakar sebesar 80,89 Gcal/hari. Jika dibandingkan dengan minyak tanah yang mempunyai nilai bakar 9000 kkal/liter dengan harga Rp6000/liter, maka akan dapat menghemat minyak tanah sebanyak 8.987 liter/hari dan dapat menghemat 19,7 milyar tiap tahunnya.

Mengingat besarnya jumlah sampah dan potensi yang dapat ditimbulkan, serta potensi ekonomi yang sangat besar

maka penelitian produksi biogas perlu dilakukan. Dalam penelitian ini akan dilakukan usaha untuk meningkatkan produksi biogas dari sampah organik yang diambil dari sampah pasar yang dicampur dengan kotoran sapi dengan pemurnian menggunakan NaOH dan *molecular sieve* untuk menghasilkan hasil biogas yang lebih baik.

I.2 Rumusan Masalah

Penelitian yang meneliti tentang potensi pengolahan sampah kota menjadi biogas dan listrik-biogas. Sampah kota yang dikhususkan adalah sampah sayuran berupa sawi, kubis, selada, dan timun, yang kemudian diseragamkan ukurannya untuk diamati produk biogas yang dihasilkan, efisiensi *overall* generator listrik, dan *load* maksimal generator yang digunakan pada berbagai macam beban pada *load bank test*.

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengamati produk biogas yang dihasilkan dari fermentasi anaerobik dengan *feed* sampah sayuran kota untuk memaksimalkan potensi kebermanfaatan sampah sayuran kota sebelum menjadi pupuk kompos.
2. Menganalisis secara ekonomi dari proses purifikasi dan dehidrasi untuk menghasilkan efisiensi *overall* generator listrik, menganalisis efek pemanasan pada proses purifikasi, dan menganalisis *load* maksimal generator yang digunakan pada berbagai macam beban pada *load bank test*.

I.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a) *Starter* menggunakan 200 kg kotoran sapi yang dicampur dengan 300 kg air dan 10 kg sampah sayuran yang telah menghasilkan gas metana.
- b) Proses fermentasi utama pembentukan biogas menggunakan reaktor anaerobik 1100 L dan gas holder biogas 650 L dengan bahan baku campuran 200 kg sampah sayuran dicampur dengan 300 kg air. Fraksi massa solid total adalah 37% massa dari massa total.
- c) Proses *acid gas removal* menggunakan *packed bed column* dengan *raschig ring* dan dehidrasi biogas menggunakan *molecular sieve* 3Å dalam kolom dehidrasi.

I.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat dijadikan sebagai evaluasi dari perlakuan teknis pada proses fermentasi sampah sayuran dalam menghasilkan laju produksi biogas per harinya, yang kemudian dianalisa penghasilan komposisi gas metana tertingginya. Juga, mengevaluasi proses purifikasi dan dehidrasi biogas dalam menghasilkan efisiensi *overall* yang tinggi dan *load bank* maksimum. Mengevaluasi efek pemanasan saat proses purifikasi. Serta memaksimalkan potensi kebermanfaatan sampah sayuran perkotaan dalam menghasilkan sumber daya listrik terbarukan, sebelum akhirnya dijadikan pupuk kompos.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Sampah Sayuran sebagai Feed Pembentukan Biogas

Sampah sayuran adalah residu yang cukup penting karena jumlahnya sangat banyak pada produksi agrikultural di Indonesia. Jumlah yang semakin banyak dari tahun ke tahun membuat biaya operasi semakin meningkat yang disebabkan oleh kerugian penjualan dan biaya pembuangan (Scano et al., 2014). Bahkan, sejalan dengan besarnya fraksi organik dalam sampah organik tersebut, akan terdegradasi secara alami yang menyumbang gas rumah kaca dan lindi yang merugikan ekosistem (Zhu et al., 2009; Lin et al., 2011). Dari fakta-fakta tersebut, sampah organik yang banyak dihasilkan dapat digunakan untuk proses pembuatan biogas sebagai energi alternatif dan untuk mengurangi gas rumah kaca dan lindi yang dapat merugikan ekosistem.

II.2 Prinsip Dasar Pembentukan Biogas dari Bahan Organik

Pengolahan limbah secara biologis dibedakan menjadi dua proses yaitu proses aerobik dan proses anaerobik, pada proses aerobik berlangsungnya proses sangat tergantung dari adanya oksigen, sedangkan dalam proses anaerobik justru sebaliknya karena oksigen menghambat jalannya proses. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.

- Proses aerobik : Bahan organik + O₂ \longrightarrow CO₂ + H₂O + MO baru
- Proses anaerobik: Bahan organik \longrightarrow CO₂ + CH₄

Kelebihan utama yang dimiliki pada proses anaerobik, yaitu:

1. Dihasilkan biogas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif.
2. Tidak diperlukan energi untuk aerasi.

Kelebihan dan kekurangan proses anaerob dapat dilihat pada Tabel II.1:

Tabel II.1 Kelebihan dan Kekurangan Proses Anaerob

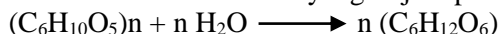
Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none">• Derajat stabilitas tinggi	<ul style="list-style-type: none">• <i>Rate</i> pertumbuhan bakteri methanogenesis rendah
<ul style="list-style-type: none">• Produk <i>sludge</i> buangan rendah	<ul style="list-style-type: none">• Bakteri methanogenesis sangat <i>sensitive</i> terhadap perubahan temperatur
<ul style="list-style-type: none">• Kebutuhan <i>nutrient</i> rendah	<ul style="list-style-type: none">• Pada temperatur operasi <i>thermophilic</i> dibutuhkan energi untuk pemanasan
<ul style="list-style-type: none">• Dihasilkan gas metana sebagai sumber energi	
<ul style="list-style-type: none">• Tidak dibutuhkan energi untuk aerasi	

(Sumber: Sughezzo, 2004)

Penguraian bahan – bahan organik menjadi biogas melalui 4 tahapan proses, yaitu:

1. Tahap Hidrolisa

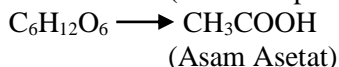
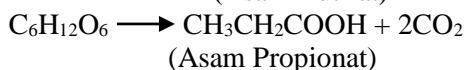
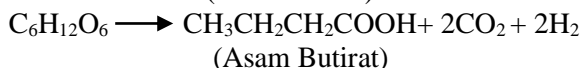
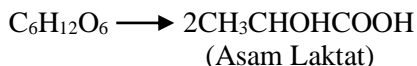
Dalam proses ini organisme fermentasi hidrolitik menghidrolisis dan fermentasi bahan organik kompleks seperti protein, poli karbonat, lipid, senyawa organik sederhana (format, asetat, asam lemak propionate, butirat dan lainnya, etanol, dll), hydrogen dan karbon dioksida. Proses ditunjukkan oleh fermentasi glukosa oleh bakteri fermentasi selama 48 jam. Kelompok bakteri pada tahap hidrolisa ini adalah *Streptococci*, *Bacteriodes*, dan beberapa jenis *Enterobacteriaceae*. Reaksi yang terjadi pada tahap ini adalah:



2. Tahap Asidifikasi

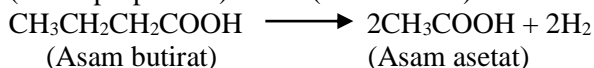
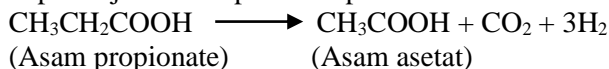
Produk utama fermentasi adalah asetat, hydrogen, karbondioksida, propionat, dan butirat. Propionat dan butirat di fermentasi lebih lanjut menjadi hydrogen, karbondioksida dan asetat yang merupakan pembentukan metana

(methanogenesis). pH optimum bagi bakteri asidogenesis adalah 5,2 – 6,5 dengan laju pertumbuhan spesifik 2 hari (Solera, 2002). Kelompok bakteri asidifikasi, seperti bakteri asidogen dan *Desulfovibrio*. Reaksi yang terjadi pada tahap ini adalah:



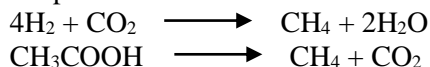
3. Tahap Asetogenasi

Produk dari tahap asidifikasi yang tidak langsung dikonversi menjadi metana oleh bakteri methanogenik akan dikonversi menjadi senyawa methanogenik selama proses asetogenesis. Produk yang terbentuk selama asetogenesis disebabkan oleh sejumlah mikroba yang berbeda misalnya *Syntrophobacter wolnii decomposer* propionate dan *Wolfei syntrophomonos* dekomposer butirat dan pembentuk asam lainnya adalah *Clostridium spp*, *Peptococcus anerobus*, *Lactobacillus*, dan *Actinomyces*. Tahap asetogenasi ini juga termasuk pada produksi asetat dari hydrogen dan karbon dioksida oleh asetogen dan homoasetogen. Kadang – kadang tahap asidifikasi dan asetogenasi dikombinasikan sebagai satu tahapan saja. Reaksi pada tahap ini adalah:



4. Tahap Methanogenasi

Proses pada tahap methanogenasi dilaksanakan oleh mikroorganisme kelompok metanogen, yang terbagi dalam dua kelompok, kelompok pertama adalah bakteri yang mengkonversi asam asetat menjadi karbon dioksida dan metana oleh mikroorganisme asetropik, sedangkan kelompok kedua adalah *hydrogen – utilizing* methanogenesis menggunakan hidrogen sebagai elektron dan karbondioksida sebagai elektron aseptor untuk menghasilkan dua kali lipat. pH optimum yang diperlukan 6 – 7 (Solera, 2002). Bakteri yang berperan dalam tahap ini adalah Reaksi yang terjadi pada proses ini adalah:



II.3 Karbondioksida (CO₂)

Karbondioksida adalah senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen yang terikat secara kovalen dengan sebuah atom karbon. Berbentuk gas pada temperatur dan tekanan standar dan berada di atmosfer. Karbondioksida termasuk oksida asam dan tidak berbentuk cair pada tekanan dibawah 5,1 atm tetapi berbentuk padat pada temperatur di bawah -78°C. Dalam bentuk padat, karbondioksida disebut *dry ice*. Larutan karbondioksida mengubah warna lakmus dari biru menjadi merah muda.

Gas karbondioksida diproduksi hampir 97% dari hasil pembakaran bahan bakar fosil, seperti dari sumber batu bara, minyak, gas alam dan biomassa. Keberadaan karbondioksida pada industri gas alam dapat menurunkan nilai *heating value* pada gas dan komponen asam dapat menyebabkan korosi pada peralatan. Pada pipa gas alam, kandungan karbondioksida yang diizinkan sekitar 1-2% mol.

Adanya karbondioksida yang berlebihan dapat melubangi lapisan ozon, menyebabkan efek rumah kaca, dan pemanasan global. Salah satu indikator yang digunakan dalam menganalisa isu pemanasan global adalah bertambahnya gas rumah kaca,

terutama gas karbondioksida. Gas karbondioksida yang keluar meninggalkan kolom harus memenuhi spesifikasi batas gas karbondioksida, seperti pada Tabel II.2:

Tabel II.2 Spesifikasi Batas Konsentrasi Gas Karbondioksida dalam Proses Industri

Proses	Batas konsentrasi gas karbondioksida
Industri manufaktur	< 0,1% CO ₂
Industri amoniak	< 16 ppm CO ₂
Pemurnian gas alam:	
• Pipa gas	< 4% CO ₂
• Bahan baku LNG	< 50 ppm CO ₂
Sintesa gas untuk produksi kimia (H ₂ /CO)	< 500 ppm CO ₂
Gasifikasi batu bara	~500 ppm CO ₂
Industri etilen	~1 ppm CO ₂
Pembangkit tenaga listrik:	
• Pembangkit tenaga listrik IGCC	<0,5% CO ₂
• Pembangkit listrik batubara	<1,5% CO ₂

Selain memiliki beberapa efek negatif, karbondioksida juga memiliki nilai ekonomis, diantaranya karbondioksida digunakan dalam industri minuman berkarbonasi, *dry ice*, bahan baku pada industri urea, industri abu soda.

II.4 Hidrogen Sulfida (H₂S)

Hidrogen sulfide (H₂S) adalah gas yang tidak berwarna, beracun, mudah terbakar dan berbau sangat menyengat. Gas ini dapat timbul dari aktivitas biologis ketika bakteri mengurai bahan organik dalam keadaan tanpa oksigen (aktivitas anaerobik), seperti di rawa dan saluran pembuangan kotoran. Gas ini juga muncul pada gas yang timbul dari aktivitas gunung

berapi dan gas alam. Keberadaan gas H_2S pada gas alam dapat menyebabkan korosi pada pipa. Jumlah kandungan H_2S yang diizinkan dalam standar *pipeline* gas yaitu *range* antara 4 – 16 ppmv.

II.5 Air (H_2O)

Air merupakan komponen yang berlimpah di bumi ini. Di alam, air terkandung di dalam *liquid*, *solid*, dan gas. Dalam pemurnian gas, kandungan air dalam gas harus dihilangkan atau dimurnikan agar tidak menyebabkan korosi pada sistem perpipaan. Kadar air maksimum pada *pipeline* gas adalah 4 – 7 lb/MMscf.

II.6 Absorber

Alat yang digunakan dalam proses absorpsi disebut *absorber*. *Absorber* berfungsi untuk memisahkan suatu komponen atau lebih dari campurannya menggunakan prinsip perbedaan kelarutan. Karena perbedaan kelarutan inilah, transfer masa *absorber* digunakan untuk memisahkan suatu *solute* dari arus gas. *Solute* adalah komponen yang dipisahkan dari campurannya sedangkan pelarut (*solvent* sebagai *separating agent*) adalah cairan atau gas yang melarutkan *solute*. Kinerja *absorber* juga dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Tekanan
2. Laju alir gas
3. Konsentrasi larutan penyerap

Absorban merupakan cairan yang dapat melarutkan bahan yang akan diabsorpsi. Adapun persyaratan absorban antara lain:

a) Kelarutan Gas

Kelarutan gas harus tinggi sehingga dapat meningkatkan laju absorpsi dan menurunkan kuantitas pelarut yang diperlukan. Umumnya pelarut yang memiliki sifat yang sama dengan bahan terlarut akan lebih mudah dilarutkan. Jika gas larut dengan baik dalam fraksi mol yang sama pada beberapa jenis pelarut, maka dipilih pelarut yang

memiliki berat molekul paling kecil agar didapatkan fraksi mol gas terlarut yang lebih besar. Jika terjadi reaksi kimia dalam operasi absorpsi maka umumnya kelarutan akan sangat besar.

- b) Volatilitas
Pelarut harus memiliki tekanan uap yang rendah, karena jika gas yang meninggalkan kolom absorpsi jenuh terhadap pelarut maka akan ada banyak pelarut yang terbuang.
- c) Korosifitas
Pelarut yang korosif dapat menyebabkan kerusakan pada kolom *absorber*.
- d) Harga
Penggunaan pelarut yang mahal dan tidak mudah *direcovery* akan meningkatkan biaya operasi kolom *absorber*.
- e) Ketersediaan
Ketersediaan pelarut akan sangat mempengaruhi stabilitas harga pelarut dan biaya operasi secara keseluruhan.
- f) Viskositas
Viskositas pelarut yang rendah memiliki kelebihan karena akan terjadi laju absorpsi yang tinggi, meningkatkan karakter *flooding* dalam kolom, jatuh-tekan yang kecil dan sifat perpindahan panas yang baik.
- g) Lain-lain
Sebaiknya pelarut tidak memiliki sifat racun, mudah terbakar, stabil secara kimiawi dan memiliki titik beku yang rendah.

Pemilihan pelarut umumnya dilakukan sesuai dengan tujuan absorpsi, antara lain:

- Jika tujuan utama adalah untuk menghasilkan larutan yang spesifik, maka pelarut ditentukan berdasarkan sifat dari produk.

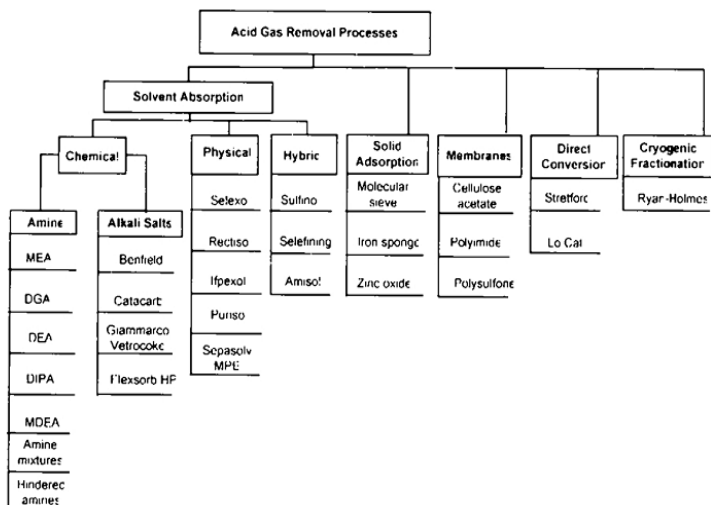
- Jika tujuan utama adalah untuk menghilangkan kandungan tertentu dari gas, maka ada banyak pilihan pelarut. Misalnya air, dimana merupakan pelarut yang paling murah dan sangat kuat untuk senyawa polar.

Hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan *absorber* adalah keberadaan bahan isian (*packing*). Bahan isian (*packing*) dalam *absorber* berfungsi untuk memperluas bidang kontak di dalam *absorber*. Bahan isian (*packing*) yang digunakan dalam *absorber* dapat terbuat dari bermacam-macam bahan. Syarat-syarat suatu bahan isian yang bisa digunakan adalah sebagai berikut (Mc.Cabe, 1999):

1. Tidak bereaksi dengan fluida dalam *absorber*.
2. Kuat tetapi tidak berat.
3. Memberikan luas kontak yang besar.
4. Murah.
5. Tahan korosi.

II.7 Acid Gas Removal

Pada proses ini gas asam yang dihilangkan adalah CO_2 dan H_2S sebagai produk samping dari reaksi pembentukan biogas. CO_2 bersifat korosif terhadap logam, sedangkan H_2S akan dihilangkan karena bersifat racun serta dapat menyebabkan korosi pada sistem perpipaan. Ada beberapa metode terkini yang sedang dikembangkan ataupun telah dilakukan pengujian kelayakan dalam skala kecil (*Pilot Project*) dan bahkan telah digunakan untuk menghilangkan kandungan CO_2 . Beberapa metode tersebut seperti Gambar II.1:



Gambar II.1 Jenis – Jenis Proses *Acid-Gas Removal*

Dari beberapa metode-metode tersebut, dipilih yang merupakan absorban paling baik, yaitu NaOH. Natrium hidroksida (NaOH), juga dikenal sebagai soda kaustik, soda api, atau sodium hidroksida, adalah sejenis basa logam kaustik. Natrium Hidroksida terbentuk dari oksida basa Natrium Oksida dilarutkan dalam air. Natrium hidroksida membentuk larutan alkalin yang kuat ketika dilarutkan ke dalam air. Ia digunakan di berbagai macam bidang industri, seperti absorpsi pada proses pengolahan gas. Natrium hidroksida bersifat lembap cair dan secara spontan menyerap karbon dioksida dari udara bebas.

II.8 Dehidrasi

Pada tahap ini biogas yang dihasilkan akan dihilangkan kadar airnya agar gas metana yang dihasilkan memiliki kemurnian yang optimum sehingga tidak diperlukan proses lanjutan. Ada beberapa metode yang digunakan untuk memisahkan uap air dari kandungan *feed* gas yaitu:

1. Absorbsi

Metode ini dapat mengurangi kadar uap air pada gas alam dapat hingga 10 ppm. Pelarut yang banyak digunakan untuk penghilangan H₂O pada proses ini adalah *glycol*, seperti *ethylene glycol* (EG), *diethylene glycol* (DEG), *Triethylene glycol* (TEG), *tetraethylene glycol* (TREG) dan *propylene glycol* (PG). Oleh karena itu proses ini tidak dapat diaplikasikan pada pengolahan gas alam menjadi LNG. Proses ini cenderung menyebabkan korosi karena oksigen bereaksi dengan *glycol*. Selain itu dapat meningkatkan potensi *foaming* pada produk.

Tabel II.3 *Glycol* untuk Dehidrasi

Nama	Rumus Kimia	Temperatur Regen Max (°C)
<i>Ethylene glycol</i> (EG)	C ₂ H ₆ O ₂	-
<i>Diethylene glycol</i> (DEG)	C ₄ H ₁₀ O ₃	160
<i>Triethylene glycol</i> (TEG)	C ₄ H ₁₄ O ₄	180
<i>Tetraethylene glycol</i> (TREG)	C ₈ H ₁₈ O ₅	200
<i>Propylene glycol</i>	C ₃ H ₈ O ₂	-

(Sumber: *Fundamental of Natural gas processing*)

2. Adsorbsi

Beberapa zat padat dapat digunakan sebagai adsorben padat dalam dehidrasi gas alam. Beberapa adsorben padat ini dapat menghilangkan air sampai kadar air menjadi di bawah 10 ppm. Karena itu sering digunakan dalam dehidrasi gas alam sebelum proses pencairan. Pada saat ini terdapat beberapa adsorben padat

komersial yang dapat digunakan untuk dehidrasi gas, diantaranya:

a. Alumina (Al_2O_3)

Alumina dapat menghasilkan gas dengan titik embun di bawah -1000 F tetapi memerlukan panas yang lebih besar dalam regenerasinya dibandingkan dengan lainnya. Selain itu, cenderung mengadsorb hidrokarbon yang sulit dibebaskan lagi pada proses regenerasi. Alumina bersifat basa sehingga tidak tahan terhadap asam. Dan Alumina ini merupakan bahan yang mahal, dan menghasilkan gas dengan kadar air di bawah 10 ppm.

Tabel II.4 Sifat *Activated* Alumina

Properti	Nilai
<i>Bulk Density</i>	38-42 lb/ft ³ (granul) 54-58 lb/ft ³ (pellet)
<i>Heat Capacity</i>	0.21-0.25 BTU/lb°F
<i>Pore Volume</i>	0.29-0.37 cm ³ /g
<i>Surface Area</i>	210-360 m ² /g
<i>Average Pore Diameter</i>	18-48 Å
<i>Regeneration Temperature (steaming)</i>	200-250 °C
<i>Maximum Allowable Temperature</i>	500 °C

(Sumber: *Fundamental of Natural gas processing*)

b. Silika gel (SiO_2)

Silika gel adalah bahan pengikat yang dapat menghasilkan gas dengan kadar air di bawah 10 ppm. Kedua bahan ini lebih mudah diregenerasi, dan juga cenderung mengadsorb hidrokarbon tetapi mudah dibebaskannya kembali pada proses regenerasi. Bahan ini bersifat asam sehingga dapat bereaksi dengan amoniak, soda kostik dan basa lainnya. Selain itu silica gel ini akan retak dan pecah jika kena cairan.

Tabel II.5 Sifat Silika Gel

Properti	Nilai
<i>Bulk Density</i>	44-56 lb/ft ³
<i>Heat Capacity</i>	0.22-0.26 BTU/lb°F
<i>Pore Volume</i>	0.37 cm ³ /g
<i>Surface Area</i>	750 m ² /g
<i>Average Pore Diameter</i>	22 Å
<i>Regeneration Temperature (steaming)</i>	120-250 °C
<i>Maximum Allowable Temperature</i>	400 °C

(Sumber: *Fundamental of Natural gas processing*)

c. *Molecular sieves*

Molecular Sieve terbuat dari alkali-aluminat yang berbentuk kristalin yang dapat menghasilkan gas dengan kadar air di bawah 1 ppm. Dengan ukuran tertentu *molecular sieve* ini tidak mengadsorb hidrokarbon, tetapi memerlukan temperatur yang tinggi dalam reaktivasi. *Molecular sieve* bersifat basa karena itu tidak tahan terhadap asam. Meskipun

molecular sieve ini *relative* mahal namun dapat dilakukan proses regenerasi.

Tabel II.6 Sifat *Molecular Sieves*

	<i>Anhydrous Sodium Aluminosilicate</i>	<i>Anhydrous Calcium Aluminosilicate</i>	<i>Anhydrous Aluminosilicate</i>
Tipe	3Å	5Å	13X
<i>Density in bulk (lb/ft³)</i>	44	44	38
<i>Specific Heat (BTU/lb°F)</i>	0.19	0.19	-
<i>Effective Diameter of Pore (Å)</i>	3	5	13
<i>Regeneration Temperature (°C)</i>	200-300	200-300	200-300
<i>Maximum Allowable Temperature (°C)</i>	600	600	600

(Sumber: *Fundamental of Natural gas processing*)

II.9 Load Bank Test

Load Bank dipakai sebagai alat simulasi dan penguji seberapa besar kemampuan suatu pembangkit listrik seperti *diesel* genset, gas genset, *turbine* maupun berbagai macam pembangkit dan sejenisnya beserta kelengkapannya. *Load bank* dipergunakan dalam menguji kemampuan suatu generator baik itu generator baru maupun generator bekas, generator baru

belum tentu memiliki kemampuan seperti yang tertera dalam katalog maupun brosur-brosurnya, *test report* yang terlampir dari perusahaan perakit belum tentu sesuai dengan kondisi saat generator terinstal, ada berbagai aspek yang bisa menyebabkan kondisi *performance engine* generator berubah.

Untuk itu perlu alat uji yang akurat yaitu *load bank test*, yang bisa memberikan data lengkap tentang kondisi *performance* dari generator, Bisa dilakukan *test* dengan beban *smooth* maupun ekstrim untuk melihat seberapa bagus *response* generator terhadap berbagai karakter beban.

II.10 Penelitian Terdahulu yang Bersangkutan

Berikut adalah penelitian terdahulu mengenai purifikasi biogas dan generasi listrik:

Tabel II.7 Daftar Peneliti Biogas

No	Nama Penulis	Judul	Hasil yang Diperoleh
1	Herawati, Arif Wibawa, Fitriyawati, 2014	<i>The Impact of Solvent of Absorption CO₂ from Biogas Vinasse</i>	Mendapatkan hasil bahwa larutan NaOH dan KOH dapat menghilangkan kadar CO ₂ sebanyak 100% dari biogas yang diproduksi pada hari ke - 7. Absorban NaOH merupakan absorban terbaik untuk meningkatkan kadar CH ₄ yaitu dari 55,377 % menjadi 82,53% volume pada minggu kelima produksi biogas

2	Huertos, Giraldo dan Izquierdo, 2011	<i>Removal of H₂S and CO₂ from Biogas by Amine Absorption</i>	Mendapatkan hasil bahwa MEA dan DEA dapat menurunkan kadar H ₂ S adalah 98% menjadi 95% dan untuk CO ₂ adalah 87% menjadi 50%.
3	Himabindu dan Ravikrishna, 2013	<i>Performance Assessment of a Small Biogas – fuelled Power Generator Prototype</i>	Mendapatkan hasil pengaruh kecepatan mesin terhadap efisiensi <i>gas engine</i> menggunakan <i>load bank test</i> , didapatkan nilai pada 3000 rpm dengan berbagai beban untuk mencapai <i>overall</i> efisiensi optimum.
4	Achmad Warid Dio P. dan Nimrod Alvino Sinaga, 2014	Peningkatan Kualitas Biogas melalui Absorpsi Gas CO ₂ dan H ₂ S Menggunakan Larutan Alkali dan Garamnya Sebagai Absorban	Mendapatkan hasil bahwa larutan NaOH memiliki waktu untuk mencapai kondisi jenuh paling lama dan persen <i>recovery</i> paling besar yaitu K ₂ CO ₃ serta larutan absorben yang paling efisien digunakan untuk absorpsi kandungan gas CO ₂ dan H ₂ S di dalam biogas adalah Ca(OH) ₂ .

5	Rahayaan, Bobby Rama Jaya dan Ardhiya, 2015	Pengaruh Proses <i>Acid Gas</i> <i>Removal</i> dan Dehidrasi Terhadap Efisiensi <i>Overall</i> Mesin Konversi Biogas-Listrik	Mendapatkan hasil bahwa larutan NaOH merupakan absorban yang paling optimum dan absorban K ₂ CO ₃ memiliki efisiensi <i>overall</i> tertinggi dengan nilai 5,64%.
6	Soewarno, Nonot, Ali Altway, dan Gede Wibawa. 2009	Pemanfaat Sampah Kota Menjadi Energi Terbarukan Biogas dengan Fermentasi Secara Anaerobik	Mendapatkan hasil bahwa semakin rendah konsentrasi padatan maka semakin tinggi produktifitas volume gas per kg sampah dan penambahan urea untuk konsentrasi padatan yang semakin tinggi dapat meningkatkan produktifitas biogas yang dihasilkan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Deskripsi Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui daya listrik optimum yang dihasilkan biogas terpurifikasi dari gas asam yang berasal dari proses fermentasi anaerobik sampah sayuran sisa di Pasar Keputran, Surabaya. Proses pemurnian menggunakan sistem absorpsi kimiawi dengan alkali (NaOH), serta dehidrasi menggunakan *molecular sieve* 3Å. Purifikasi dilakukan untuk meningkatkan efisiensi pembakaran biogas sebagai umpan generator listrik dengan pengujian daya listrik optimumnya menggunakan *load bank test*.

III.2 Bahan dan Peralatan Penelitian

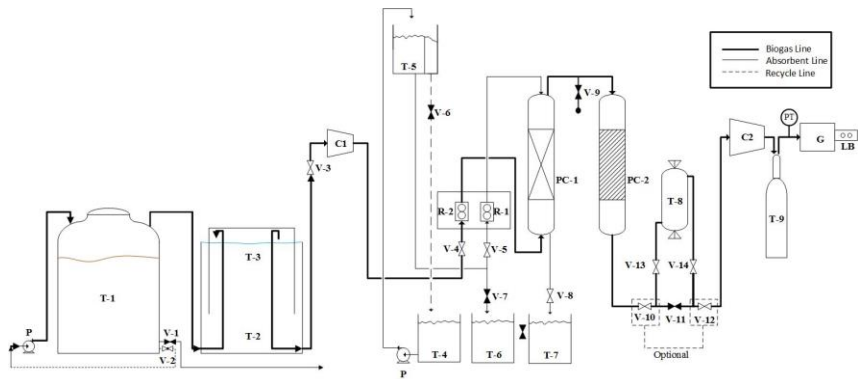
III.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Sampah Sayuran Pasar Keputran, Surabaya.
2. Biogas
3. Natrium Hidroksida (NaOH)
4. *Aquadest*
5. *Molecular sieve* 3Å

III.2.2 Peralatan Penelitian

Dalam penelitian ini, digunakan tanki *digester* 1100 L dengan *gas holder* bervolume 650 L, satu buah *packed column reactor* untuk *acid gas removal* yang diisi dengan *raschig ring* serta dilengkapi dengan tangki umpan larutan absorban dan tangki *overflow*, satu buah *packed column reactor* untuk *gas dehydration* yang diisi dengan *molecular sieve* 3Å, kompresor, pompa, *valve*, *rotameter* gas dan liquid, tangki penampung gas dan liquid, *gas generator*, dan *load bank test*. Skema peralatan penelitian yang sistematis dapat dilihat pada Gambar III.1:



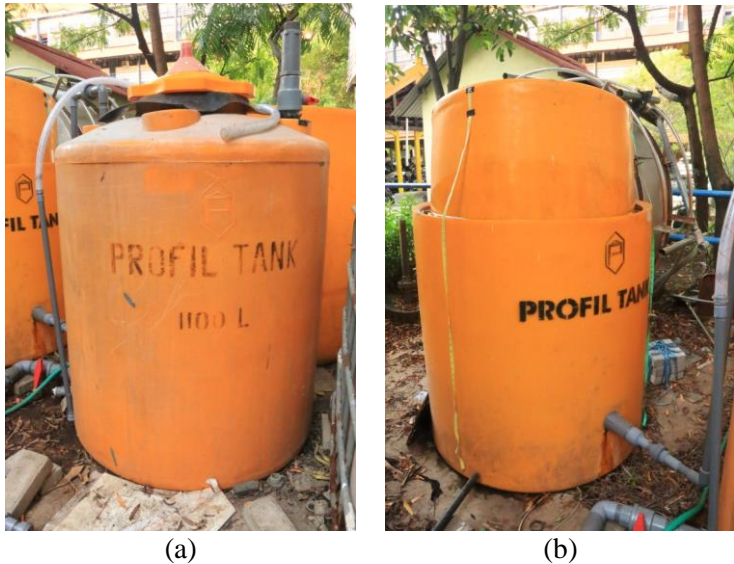
Gambar III.1 Skema Peralatan Penelitian

Keterangan :

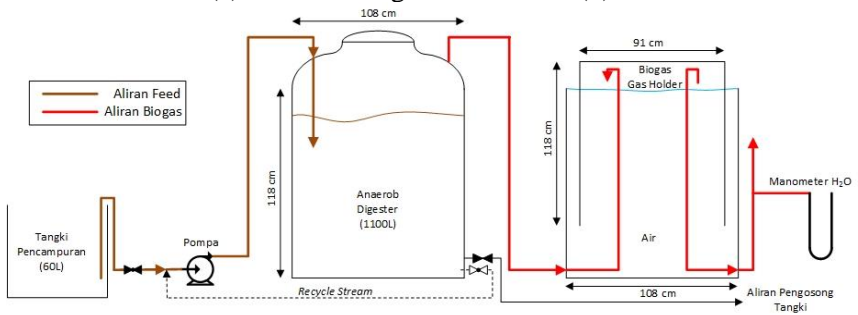
- T-1 = Tangki *digester* (1100 L)
- T-2&3 = Tangki penampung gasbio (650 L)
- T-4 = Tangki penampung larutan absorbant (15 L)
- T-5 = Tangki *overflow* larutan absorbant (15 L)
- T-6 = Tangki penampung drainase absorbant (15 L)
- T-7 = Tangki pembuangan absorbant hasil absorpsi (15 L)
- T-8 = Tangki penampung sementara *treated* biogas sebelum dikompresi
- T-9 = Tangki penampung *treated* biogas setelah dikompresi
- V-1 = Kran drainase T-2
- V-2 = Kran *recycle* T-2
- V-3 = Kran aliran biogas menuju *booster* kompresor
- V-4 = Kran aliran biogas ke *packed column*
- V-5 = Kran aliran larutan absorbant menuju *packed column*
- V-6 = Kran aliran *recycle* absorbant (*normally closed*)
- V-7 = Kran drainase aliran absorbant pada T-4 (*normally closed*)
- V-8 = Kran aliran buangan absorbant hasil absorpsi
- V-9 = Kran *sampling* biogas setelah proses *acid gas removal* (*normally closed*)
- V-10 = Kran aliran *treated* biogas menuju T-9 dan V-12 (*optional*)
- V-11 = Kran pengatur inlet T-9 dan C-2
- V-12 = Kran aliran *treated* biogas menuju C-2 (*optional*)

- V-13 = Kran *inlet treated* biogas menuju T-9
- V-14 = Kran *outlet treated* biogas menuju C-2
- R-1 = *Rotameter* larutan absorban ke *packed column* (45 L/jam)
- R-2 = *Rotameter* biogas ke *packed column* (25 L/min)
- C-1 = *Booster* kompresor biogas menuju *packed column* (0.22 atm gauge)
- C-2 = kompresor *treated biogas* menuju T-10 (250 psi)
- PC-1 = *Packed column* untuk *acid gas removal* (D = 7 cm, L = 150 cm, L_{packing} = 60 cm)
- PC-2 = *Packed column* untuk *gas dehydration* (D = 6 cm, L = 150 cm, L_{packing} = 10 cm)
- P = Pompa (300 watt)
- G = *Gas generator* (800 Watt)
- LB = *Load bank* (10 slot terminal listrik dengan lampu bohlam 50 W)
- PT = Pressure Transmitter
- TT = Temperature Transmitter

III.2.3 Skema Reaktor Biogas dan Alat Penelitian



Gambar III.2 (a) Reaktor Biogas 1100 L dan (b) Gas Holder 650 L



Gambar III.3 Skema Reaktor Biogas 1100 L



(a)



(b)

Gambar III.4 (a) Gambar Alat Pencacah Sampah Sayuran dan (b) Motor Penggerak



(a)



(b)

Gambar III.5 (a) Gambar Alat Penelitian Tampak Depan dan (b) Tampak Belakang

III.3 Variabel Penelitian

Proses produksi biogas dilakukan pada:

1. Tekanan operasi = 760 mmHg (atmosferik)
2. Suhu = 28 - 32 °C
3. *Feed* = Kotoran sapi dari perternakan di Jalan Raya Mulyosari dan sampah sayuran Pasar Keputran, Surabaya, yang terdiri dari kol.

Adapun variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah :

-Variabel tetap:

1. Kotoran sapi starter = 200 kg (39% massa total starter)
2. Air starter = 300 kg (59% massa total starter)
3. Sampah sayuran starter = 10 kg (2% massa total starter)

4. Sampah sayuran feed = 200 kg (40% massa total feed)
5. Air feed = 300 kg (60% massa total feed)

-Variabel bebas:

1. Rasio *Rate* larutan absorban: *rate* biogas = 1:12,5; 1:18,75; 1: 25
2. Konsentrasi NaOH = 0,1 N; 0,3 N; dan 0,5 N
3. Efek pemanasan = dengan pemanasan (65°C) dan tanpa pemanasan (suhu ruangan)
4. *Load Bank Test*
 - a. 12,5 % maksimum *Load*
 - b. 25% maksimum *Load*
 - c. 37,5% maksimum *Load*
 - d. 50% maksimum *Load*
 - e. 62,5% maksimum *Load*
 - f. 75% maksimum *Load*
 - g. 87,5% maksimum *Load*
 - h. 100% maksimum *Load*

III.4 Prosedur Penelitian

III.4.1 Tahap Persiapan Bahan dan Peralatan Penelitian

III.4.1.1 Tahap Persiapan *Starter* pada Tangki *Digester* 1100 L

- a. Memasukkan 200 kg kotoran sapi dan 300 kg air PDAM ke dalam *digester* anaerob 1100 L. Kemudian ditambahkan dengan 2500 gram molases dan 10 kg sampah sayuran lalu mengaduknya sampai homogen.
- b. Sirkulasi setiap hari selama 50 menit menggunakan pompa air SHIMIZU Model PC-260 BIT.
- c. Mengamati biogas yang terproduksi selama persiapan *starter* sampai menghasilkan komposisi gas metan yang cukup untuk bisa terbakar.
- d. Mencatat *rate* produksi biogas per hari, serta pH dan temperatur di dalam tangki *digester*.
- e. Menganalisa COD awal dan akhir untuk mengetahui besar COD yang terkandung di dalam *starter*.

- f. Mengukur kadar biogas yang terbentuk setelah biogas di dalam tangki digester dapat terbakar.

III.4.1.2 Tahap Persiapan Feed pada Tangki *Digester* 1100 L

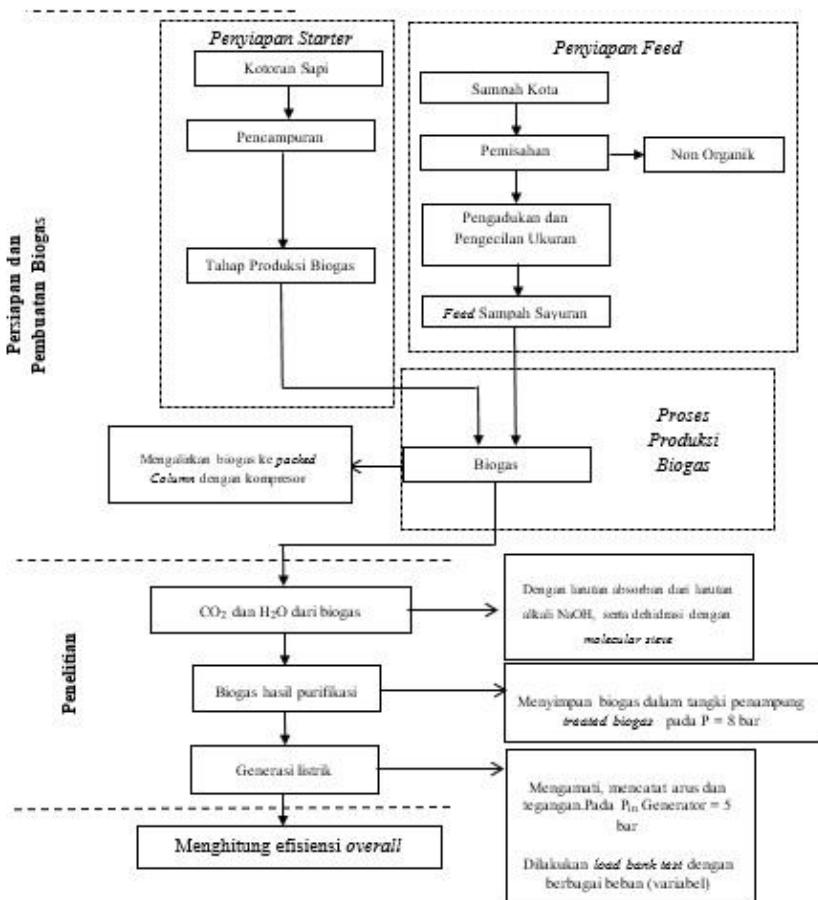
- a. Menyiapkan dan membusukkan 200 kg sampah sayuran selama 5 hari.
- b. Memasukkan 200 kg sampah sayuran dan 300 kg air PDAM ke dalam *digester* yang sudah berisi starter.
- c. Sirkulasi setiap hari selama 50 menit menggunakan pompa air SHIMIZU Model PC-260 BIT.
- d. Mengamati biogas yang terproduksi sampai menghasilkan komposisi gas metan yang cukup untuk bisa terbakar.
- e. Mencatat *rate* produksi biogas per hari, serta pH dan temperatur di dalam tangki *digester*.
- f. Menganalisa COD awal dan akhir untuk mengetahui besar COD yang terkandung di dalam *feed*.
- g. Mengukur kadar biogas yang terbentuk setelah biogas di dalam tangki digester dapat terbakar.
- h. Menganalisa produksi biogas/kg *feed* dan produksi biogas/kg COD *feed*.

III.4.2 Tahap pelaksanaan penelitian

- a. Mengisi tangki penampung larutan absorban (*T-4*) dengan 40 L larutan NaOH sebagai absorban 0.5 N.
- b. Mengalirkan larutan absorban menuju tangki *overflow* larutan absorban (*T-5*) dengan menyalakan *power* pada pompa (*P*) dan membuka *V-5*.
- c. Mengalirkan larutan absorban ke dalam *packed column* (*PC-1*) dengan membuka *V-7* untuk laju alir 0.4 L/min pada pembacaan rotameter (*R-1*) dan menutup *V-9*, tunggu hingga larutan absorban keluar dari dasar *packed column* menuju tangki pembuangan absorban hasil absorpsi (*T-7*).
- d. Mengalirkan biogas dari *gas holder* (*T-3*) dengan membuka *V-3* yang terhubung dengan *booster compressor* (*C-1*) dan membuka *V-4* untuk mengatur laju alir pada rotameter (*R-1*) sesuai dengan variabel L/G yang diinginkan, kemudian biogas dialirkan menuju

- packed column (PC-1)* hingga biogas dan larutan absorban berkontak pada *raschig ring*.
- e. Biogas yang keluar dari *packed column (PC-1)* mengalir menuju *packed column (PC-2)* dengan menutup *V-6* hingga biogas berkontak dengan molecular sieve dan keluar dari *packed column (PC-2)*.
 - f. Mengalirkan biogas yang telah terpurifikasi ke tangki penampung sementara (*T-11*) dengan membuka *V-10*, *V-11* dan *V-114* serta menutup *V-12* dan *V-13*. Selama 5 menit.
 - g. Menyampling biogas yang telah terpurifikasi dengan cara membuka *V-13* setelah 5 menit terjadi proses absorpsi dan adsorpsi biogas.
 - h. Mengulangi dari poin a.) untuk berbagai jenis variabel normalitas NaOH.
 - i. Setelah menampung biogas yang telah terpurifikasi selama 40 menit pada tangki penampung sementara (*T-9*), biogas tersebut dikompresi sebesar 8 bar menggunakan kompresor (*C-2*) menuju Tangki penampung *treated* biogas (*T-9*) dengan membuka *V-13* dan *V-14*.
 - j. Mengalirkan biogas yang sudah dikompresi menjadi 8 bar di dalam Tangki penampung *treated* biogas (*T-7*) menuju gas generator (*G*).
 - k. Menyalakan gas generator dengan menarik tuas yang ada pada generator listrik.
 - l. Menaikkan pressure pada regulator tangki penampung *treated* biogas (*T-7*) hingga 5 bar.
 - m. Mengamati dan mencatat tegangan dan arus pada *load bank test* menggunakan *clamp meter* dengan berbagai macam beban (variabel) dan melihat pengurangan tekanan pada regulator tangki.
 - n. Setelah selesai percobaan, mematikan *power* pada pompa dan kompresor (*C-1* dan *C-2*), menutup *V-3* dan *V-4* untuk menutup aliran biogas, membuka *V-7* untuk membuang absorban yang terdapat pada tangki *overflow*, dan membuang larutan sisa absorban pada *T-4*, *T-6*, *T-7*

III.5 Diagram Alir Penelitian



III.6 Analisa Hasil

III.6.1 Kromatografi Gas

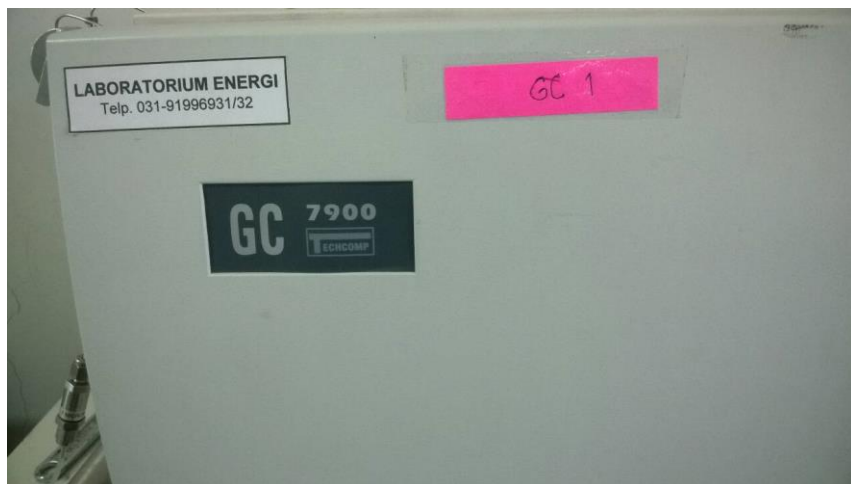
Kromatografi gas adalah proses pemisahan campuran menjadi komponen – komponen dengan menggunakan gas sebagai fase bergerak yang melewati suatu lapisan serapan yang diam. Seluruh bentuk kromatografi terdiri atas fase diam dan fase gerak.

Sebagaimana dalam fase gas – cair, kromatografi gas fase gerak dan fase diamnya antara lain :

- Fase gerak adalah gas dan zat terlarut terpisah sebagai uap. Pemisahan tercapai dengan partisi sampel antara fase gas bergerak.
- Fase diam berupa cairan dengan titik didih tinggi (tidak mudah menguap) yang terikat pada zat padat penunjangnya.

Pada dasarnya, proses kromatografi gas adalah memisahkan komponen dari campuran berdasarkan titik didih pada skala yang sangat kecil (*microscale*).

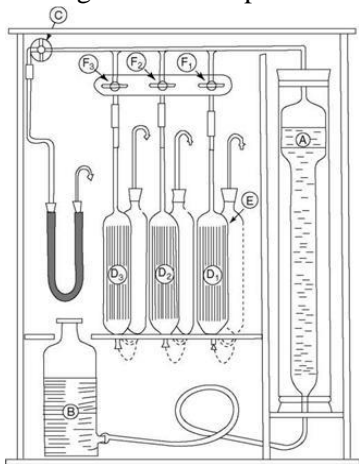
Keuntungan pada analisa kromatografi gas diantaranya adalah proses analisa yang cepat, efisien (resolusinya tinggi), sensitif, analisa kuantitatif dengan akurasi yang tinggi, dan tidak mahal. Adapun kerugian pada analisa kromatografi gas ini adalah terbatas pada sampel – sampel yang mudah menguap dan cukup sulit untuk preparasi sampel dalam jumlah besar.



Gambar III.6 Analisa Kromatografi Gas (GC – 7900)

III.6.2 Analisa Orsat

Untuk menganalisa gas buang yang terdiri dari CO_2 , O_2 , dan CO , diperlukan alat orsat dengan tiga botol penyerap sedang, untuk contoh gas yang mengandung CH_4 dan H_2 diperlukan tambahan botol penyerap dan sistem pembakaran. Agar volum komponen gas terserap langsung dapat terbaca dalam persen, maka kapasitas buret harus 100 mL. Prinsip analisa orsat ini adalah menyerap komponen gas secara bergantian melalui penyerap yang hanya dapat menyerap komponen gas tertentu. Berkurangnya volum gas setelah proses penyerapan pada tekanan dan suhu tetap merupakan ukuran komponen gas yang bersangkutan. Alat analisa orsat ini dapat dibuat dalam berbagai macam konstruksi, namun tetap mempunyai prinsip yang sama. Gas CO_2 biasanya diserap dengan larutan KOH , gas O_2 diserap dengan larutan pirogalol, dan gas CO diserap dengan larutan kuprokhlorida.



(a)



(b)

Gambar III.7 (a) Gambar Skema Analisa Orsat dan (b) Analisa Orsat yang Digunakan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Persiapan *Starter* dan *Feed* untuk proses Purifikasi

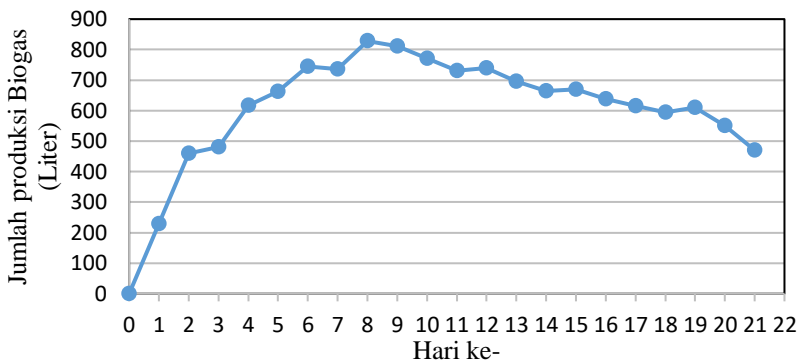
IV.1.1. Persiapan Kotoran Sapi + Sampah Sayuran sebagai *Starter* pada Tangki *Digester* 1100 L

Kotoran sapi (KS) yang masih baru diambil dari peternakan di Jalan Raya Mulyosari, Surabaya. *Starter* menggunakan kotoran sapi sebanyak 200 kg yang diencerkan dengan menggunakan 300 kg air PDAM lalu ditambahkan sampah sayuran sebanyak 10 kg dan dimasukkan ke dalam *digester* 1100 L. Sebelum ditambahkan, sampah sayuran terlebih dulu dicacah dengan mesin penggiling yang digerakan oleh motor bensin. Pencacahan dan penggilingan dilakukan hingga kondisi *feed* berbentuk *slurry*. Pencacahan dilakukan untuk memecah lignin yang menghalangi bakteri-bakteri pembentuk biogas untuk mendegradasi sampah sayuran. Pencampuran KS juga ditambahkan molases sebanyak 2,5 kg. Molases ini berfungsi untuk menjaga rasio C/N tetap 25 yang merupakan rasio ideal. Jika nilai rasio ini lebih besar dari 25, bakteri metanogen cenderung menghasilkan amoniak dibanding gas metana yang dapat mempengaruhi kemurnian metana yang dihasilkan. Setelah pencacahan dan pencampuran, didapatkan data COD sebagai berikut.

Tabel IV.1 Kadar COD Awal Sampah Sayuran setelah Pencacahan, KS, setelah Pencampuran, dan setelah 21 Hari Fermentasi

	Cacahan Sampah Sayuran	Kotoran Sapi	Campuran Sampah Sayuran + KS	Setelah 21 hari Fermentasi
COD (mg/l)	14.100	36.237	34.023	20.096

Setiap harinya, gas yang terbentuk diamati hasilnya hingga menghasilkan gas metana dengan komposisi yang cukup sehingga dapat terbakar. Berikut adalah grafik jumlah produksi biogas per hari untuk *starter* kotoran sapi + sampah sayuran.



Gambar IV.1 Laju Produksi Biogas *Starter* KS + Sampah Sayuran

Starter KS, sampah sayuran, dan air ini memerlukan 19 hari sampai akhirnya biogas dapat terbakar. Setiap harinya, campuran KS, sampah sayuran, dan air disirkulasi selama 50 menit menggunakan pompa air SHIMIZU Model PC-260 BIT.

Sirkulasi ini bertujuan untuk mencampur larutan agar tetap homogen. Penentuan waktu sirkulasi selama 50 menit adalah dengan merata-ratakan laju alir maksimum dan minimum dari tipe pompa air SHIMIZU Model PC-260 BIT, yang kemudian

membagi volume aktif tangki *digester* dengan nilai rata-rata laju alir tersebut.

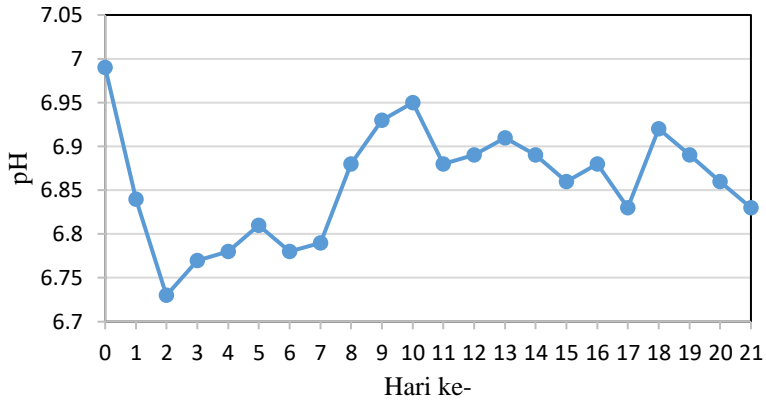
Fase lag pada Grafik IV.1 tidak terdeteksi karena KS yang sudah mengeluarkan gas di hari pertama. Fase log terjadi di hari 0 sampai 2. Pada fase ini pertumbuhan bakteri yang paling signifikan terjadi. Di hari 3 sampai 8, terjadi penurunan pertumbuhan jumlah produksi biogas yang menunjukkan bahwa ini adalah fase penurunan pertumbuhan. Pada hari 9 sampai 21, produksi gas mengalami penurunan secara berkala. Pada hari ke-12 dan 19 produksi gas sempat mengalami sedikit kenaikan tapi turun lagi di hari selanjutnya. Penurunan produksi biogas ini mengindikasikan bahwa bakteri sudah memasuki fase respirasi endogenous. Dari grafik di atas pula didapatkan produksi biogas/kg *feed* adalah 0,04852 Nm³/kg *feed* (0,4798 Nm³/kg COD *feed*).

Pengukuran biogas dilakukan pada hari ke-21 untuk mendapatkan komposisi dari biogas yang dihasilkan.

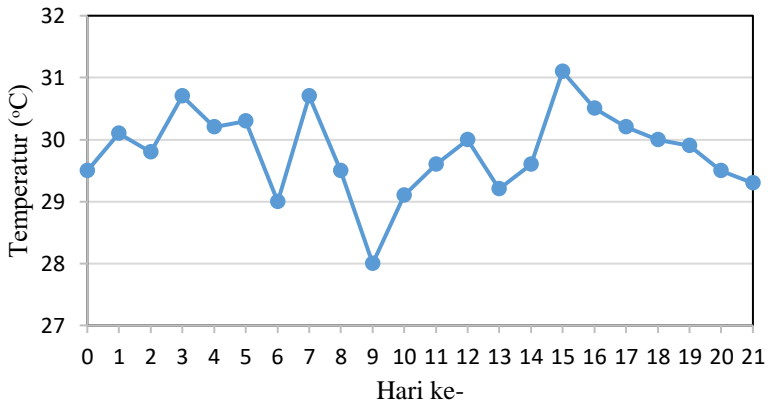
Tabel IV.2 Kadar Biogas Awal dari *Starter* KS + Sampah Sayuran Sebelum Purifikasi

Komponen	Kadar (% volume)
CH ₄	52,74
CO ₂	20,07
O ₂ , N ₂ , H ₂ O, dan H ₂ S	27,19

Biogas dengan komposisi dari masing-masing komponen seperti pada tabel IV.4 dapat menurunkan nilai kalornya sebesar 18,93 MJ/Nm³, dibanding komposisinya yg murni gas metana yang berkisar 35,9 MJ/Nm³.



Gambar IV.2 Grafik Perubahan pH pada *Starter* KS + Sampah Sayuran



Gambar IV.3 Grafik Perubahan Temperatur pada *Starter* KS + Sampah Sayuran

Selama produksi biogas setiap harinya temperatur di dalam digester cenderung konstan, namun pH sempat mengalami penurunan. Hal ini disebabkan proses pembentukan gas metan sedang berada di tahap pengasaman dimana glukosa diurai oleh bakteri membentuk asam laktat, asam butirat, atau etanol. Sedangkan untuk temperaturnya, dapat dilihat bahwa pada minggu pertama kecenderungan temperatur adalah naik. Hal ini

disebabkan oleh bakteri metanogen yang sedang bekerja memfermentasi bahan organik yang ada di dalam sampah sayuran. Pada satu minggu terakhir, suhu di dalam digester mengalami penurunan dikarenakan bakteri yang sudah mulai kekurangan makanan di dalam digester dan salah satu indikasi untuk menambahkan tambahan *feed* yang sudah disiapkan.

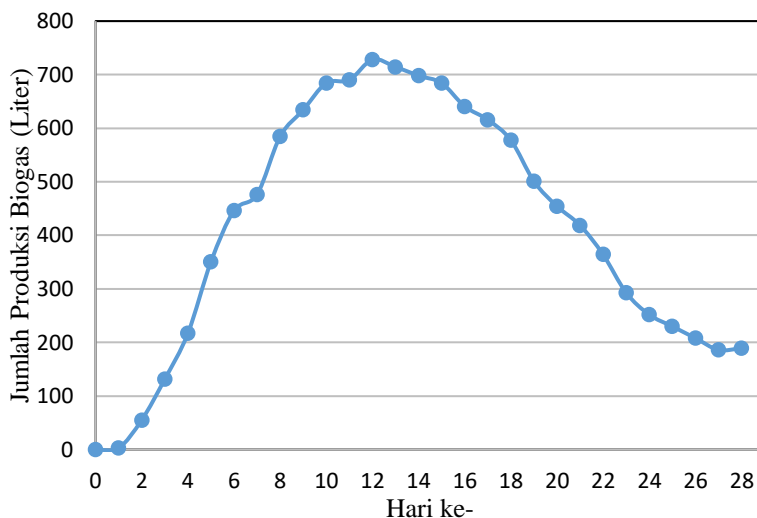
IV.1.2 Persiapan *Feed* Sampah Sayuran pada Tangki *Digester* 1100 L

Sampah sayuran diambil dari Pasar Keputran, Surabaya. *Feed* menggunakan sampah sayuran sebanyak 200 kg yang diencerkan dengan menggunakan 300 kg air PDAM. Sebelum sampah sayuran diencerkan dan dimasukkan ke dalam digester 1100 L yang sudah berisi *starter*, sampah sayuran terlebih dulu dicacah dan dibusukkan selama 5 hari. Pencacahan sampah sayuran menggunakan mesin pencacah yang digerakan oleh motor bensin. Pencacahan dilakukan hingga kondisi *feed* berbentuk *slurry*. Kemudian sampah sayuran dibusukkan selama 5 hari sampai tercium aroma busuk dari sampah tersebut. Pembusukan ini adalah tanda dari bakteri metanogen yang mulai mendegradasi sampah sayuran menjadi metana. Kemudian sampah sayuran diencerkan dan dimasukkan ke dalam *digester* 1100 L. Setelah pencacahan dan pencampuran, didapatkan data COD sebagai berikut.

Tabel IV.3 Kadar COD Awal *Feed* Sampah Sayuran setelah Pencacahan, setelah Pencampuran, dan setelah 28 Hari Fermentasi

	COD <i>Feed</i>	COD Akhir <i>Starter</i>	COD Awal <i>Feed</i> + <i>Starter</i>	COD Setelah 28 hari Fermentasi
COD (mg/l)	12.024	20.096	32.12	21.472

Setiap harinya, gas yang terbentuk diamati hasilnya hingga menghasilkan gas metana dengan komposisi yang cukup sehingga dapat terbakar. Berikut adalah grafik jumlah produksi biogas per hari untuk *feed* sampah sayuran.



Gambar IV.4 Laju Produksi Biogas *Feed* Sampah Sayuran

Campuran sampah sayuran dan air ini memerlukan 25 hari sampai akhirnya biogas dapat terbakar. Setiap harinya, campuran sampah sayuran dan air disirkulasi selama 50 menit menggunakan pompa air SHIMIZU Model PC-260 BIT.

Sirkulasi ini bertujuan untuk mencampur larutan agar tetap homogen. Penentuan waktu sirkulasi selama 50 menit adalah dengan merata-ratakan laju alir maksimum dan minimum dari tipe pompa air SHIMIZU Model PC-260 BIT, yang kemudian membagi volume aktif tangki *digester* dengan nilai rata-rata laju alir tersebut.

Dapat dilihat pada Gambar IV.4 bahwa bakteri mengalami fase lag pada hari 0 sampai 1. Pada hari ini tidak ada produksi gas di dalam reaktor. Pada hari 2 sampai 7, bakteri mulai memasuki fase log, yaitu fase dimana laju pertumbuhan bakteri yang paling signifikan dibanding fase-fase yang lain. Fase ini

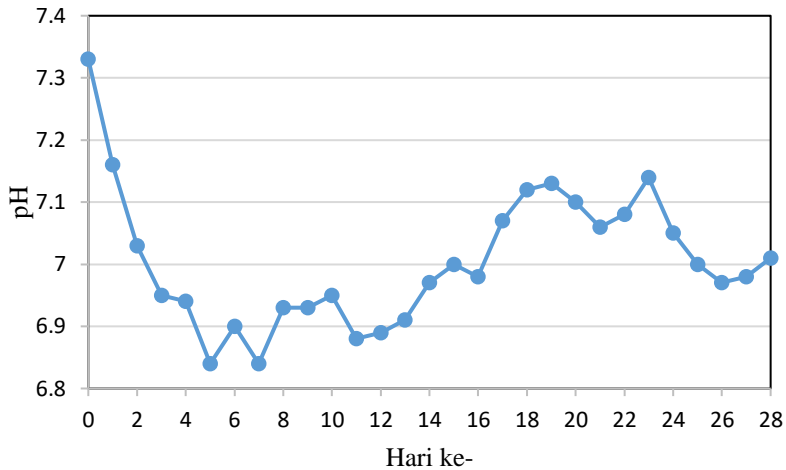
ditandai dengan produksi gas yang bertambah secara signifikan. Fase selanjutnya adalah fase penurunan pertumbuhan bakteri yang diwakili oleh produksi gas pada hari 8 sampai 12. Pada fase ini pertumbuhan bakteri sudah mulai menurun yang terlihat dari kenaikan jumlah produksi gas yang tidak setinggi hari 2 sampai 7. Pada hari 13 sampai 28, dapat dilihat produksi gas menurun yang menandakan sudah masuk fase respirasi endogenous. Pada fase ini, bakteri sudah mengalami kematian dan jumlah makanan yang tersedia sudah banyak berkurang. Dari grafik di atas pula didapatkan produksi biogas/kg *feed* adalah 0,04013 Nm³/kg *feed* (0,4013 Nm³/kg COD *feed*).

Pengukuran biogas dilakukan pada hari ke-28 untuk mendapatkan komposisi dari biogas yang dihasilkan.

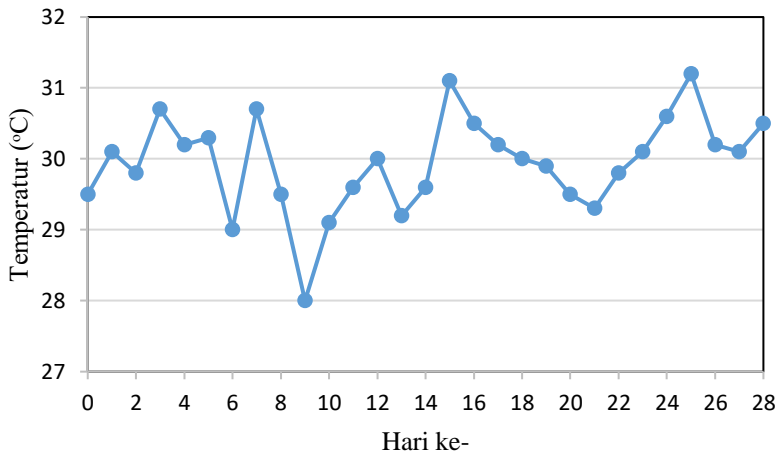
Tabel IV.4 Kadar Biogas Awal dari *Feed* Sampah Sayuran Sebelum Purifikasi

Komponen	Kadar (% volume)
CH ₄	46,45
CO ₂	22,87
O ₂ , N ₂ , H ₂ O, dan H ₂ S	30,68

Biogas dengan komposisi dari masing-masing komponen seperti pada tabel IV.4 dapat menurunkan nilai kalornya menjadi hanya 16,68 MJ/Nm³, dibanding komposisinya yg murni gas metana yang berkisar 35,9 MJ/Nm³.

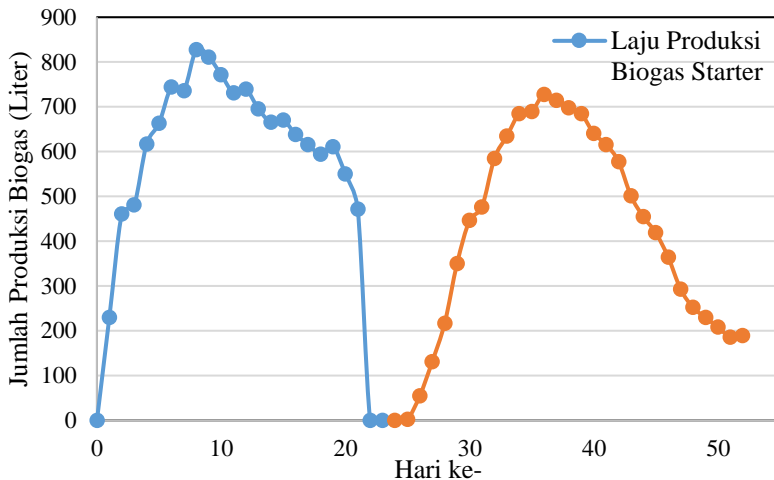


Gambar IV.5 Grafik Perubahan pH pada *Feed* Sampah Sayuran



Gambar IV.6 Grafik Perubahan Temperatur pada *Feed* Sampah Sayuran

Berikut adalah grafik laju produksi biogas per hari sampah sayuran.



Gambar IV.7 Laju Produksi Biogas *Starter* dan *Feed* secara Berkelanjutan

Dapat dilihat pada grafik di atas bahwa produksi maksimal terdapat pada *starter* dengan produksi 828,06 L biogas pada hari ke-8. Didapatkan pula jumlah produksi biogas/kg *feed* dari produksi biogas *starter* lebih besar dibanding produksi biogas *feed* dengan jumlah 0,04852 Nm³/kg *feed* (0,4798 Nm³/kg COD *feed*) untuk produksi biogas *starter* dibanding 0,04013 Nm³/kg *feed* (0,4013 Nm³/kg COD *feed*) untuk produksi biogas *feed*. Dengan kata lain, produksi biogas dengan *feed* sampah sayuran belum dapat menggantikan produksi biogas dari kotoran sapi.

IV.2 Proses Purifikasi dan Dehidrasi Biogas

Purifikasi bertujuan meningkatkan kualitas biogas melalui absorpsi gas CO₂ dan H₂S (*acid gas removal*) menggunakan larutan alkali NaOH, serta adsorpsi H₂O (dehidrasi) menggunakan *molecular sieve* 3Å terhadap efisiensi *overall* generator listrik dan untuk mengetahui efisiensi *overall* tertinggi dari berbagai macam beban (12,5%, 25%, 37,5%, 50%, 62,5%, 75%, 87,5%, dan 100%) pada *load bank test*. Pada proses *acid gas removal*, didalam *packed column*, biogas dialirkan dari bawah menuju atas dan absorban dialirkan dari atas menuju bawah (*counter* –

current) kemudian berkontak pada *raschig ring*, Sedangkan untuk proses dehidrasi, biogas akan mengalir dari atas kolom menuju bawah dan akan berkontak dengan *molecular sieve* 3Å. Biogas yang telah terpurifikasi, akan dialirkan ke tangki *buffer* untuk ditampung sementara.

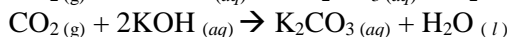
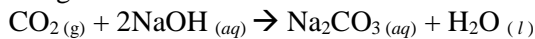
IV.2.1 Pemilihan Jenis Absorban untuk Proses Purifikasi Biogas

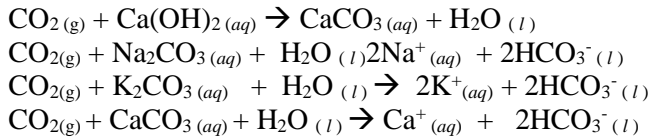
Penentuan larutan NaOH sebagai absorban dalam proses *acid gas removal* adalah dengan mengabsorpsi terlebih dahulu menggunakan alat analisa orsat untuk melihat potensi optimum CO₂ yang dapat terabsorb. Dengan berbagi absorban yang umum digunakan dalam pemurnian gas CO₂, yaitu larutan alkali NaOH, KOH, Ca(OH)₂, serta larutan garamnya, Na₂CO₃, K₂CO₃, dan CaCO₃.

Tabel IV.5 Tabel % *removal* CO₂ dari Acid Gas Removal Menggunakan Alat Analisa Orsat

Komponen	% <i>removal</i> CO ₂
NaOH	96,59
KOH	36,36
Ca(OH) ₂	40,57
Na ₂ CO ₃	68,18
K ₂ CO ₃	27,27
CaCO ₃	52,84

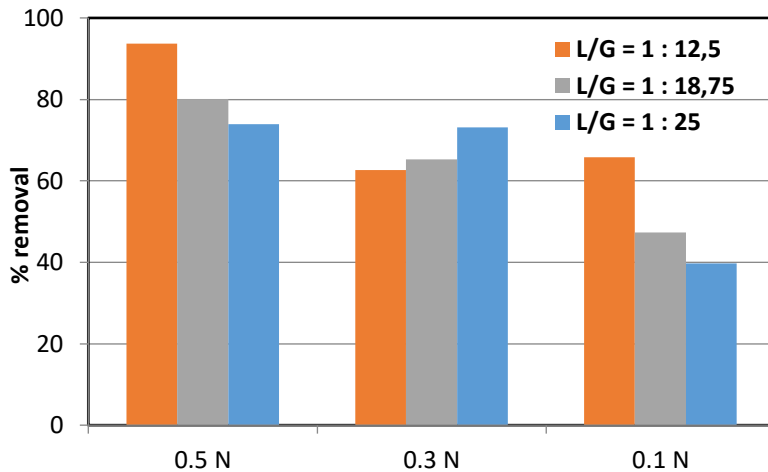
Penganalisaan potensi optimum absorpsi CO₂ dari masing-masing jenis alkali dan garamnya adalah dengan melarutkan sebanyak 0,1 N ke dalam 150 ml aquadest. Larutan NaOH, KOH, Ca(OH)₂, Na₂CO₃, K₂CO₃, dan CaCO₃ mengabsorpsi CO₂ dengan mengikuti reaksi di bawah ini:



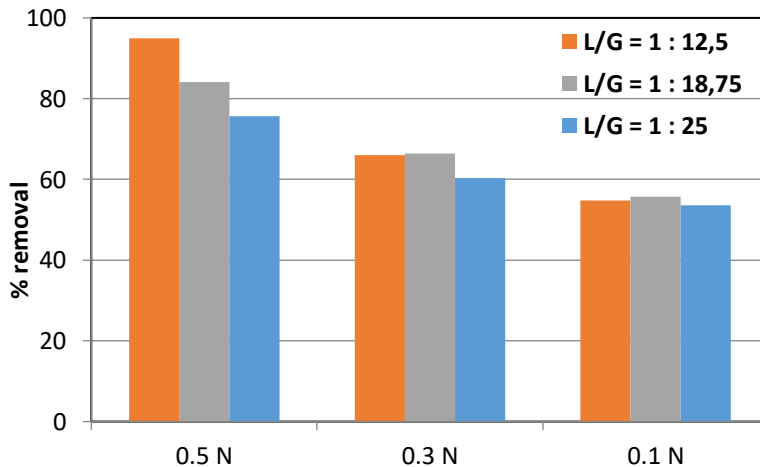


IV2.2 Pengaruh Konsentrasi dan Rasio L/G Terhadap Hasil *Acid Gas Removal*

Pada proses absorpsi, laju absorpsi merupakan ukuran perpindahan massa antara fase gas dan fase cairan, di samping perbedaan konsentrasi dan luas permukaan absorben. Laju absorpsi tersebut tergantung suhu yaitu semakin rendah suhu operasi kelarutan gas di dalam cairan semakin tinggi. Selain berpengaruh pada proses pelarutan, suhu juga sangat berperan pada kondisi optimum reaksi yang terjadi, apalagi dalam hal ini absorpsi disertai dengan reaksi kimia. Pada percobaan ini, proses absorpsi dilakukan pada dua kondisi. Kondisi yang pertama adalah pada suhu ruangan dan kondisi kedua adalah dengan pemanasan. Suhu pada saat difusi secara teoritis akan berpengaruh terhadap kinerja NaOH pada saat berkontak dengan CO₂ di dalam biogas.



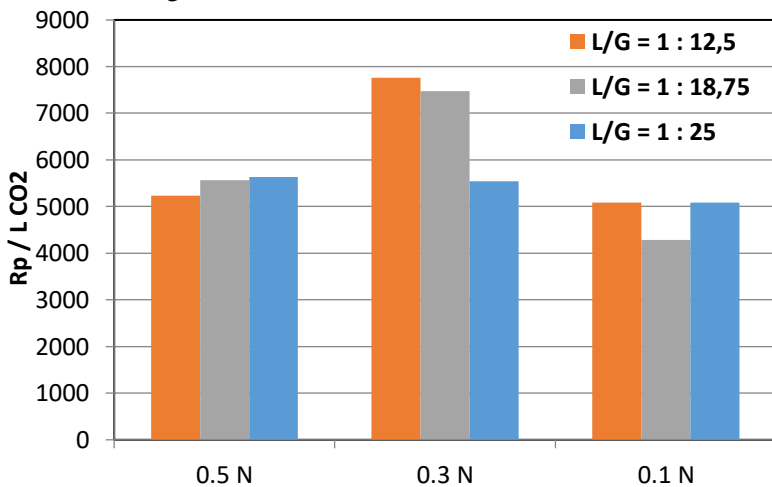
Gambar IV.8 Diagram Batang Pengaruh Rasio L/G dan Normalitas Terhadap % *removal* CO_2 Purifikasi pada Suhu Ruang



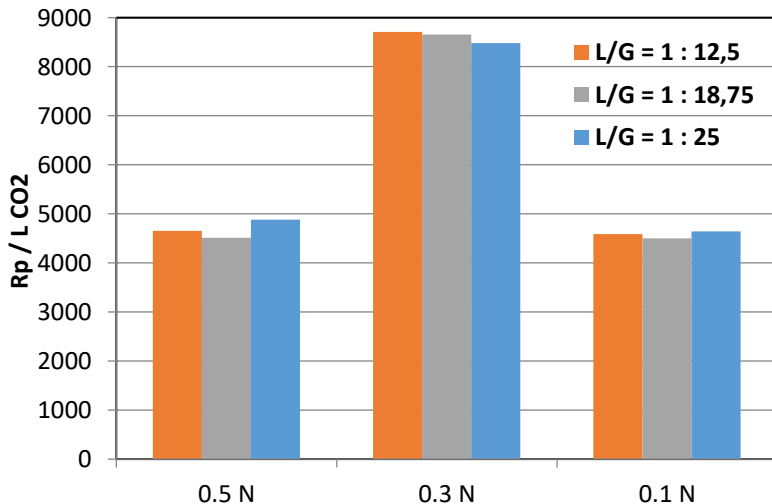
Gambar IV.9 Diagram Batang Pengaruh Rasio L/G dan Normalitas Terhadap % *removal* CO_2 Purifikasi dengan Pemanasan

Pada diagram gambar IV.7 didapati jika semakin tingginya konsentrasi dari larutan NaOH dengan semakin kecilnya rasio perbandingan laju alir biogas dan larutan absorbant dapat meningkatkan % *removal* CO₂. Hal ini menunjukkan jika semakin meningkatnya konsentrasi NaOH memperbanyak jumlah mol NaOH yang aktif agar dapat berdifusi di lapisan *interface* antara gas-liquid dan bereaksi dengan CO₂, yang dapat meningkatkan faktor *enhancement* dan menginisiasi peningkatan laju absorpsinya.

Jika membandingkan gambar IV.7 dan IV.8 secara *overall*, % *removal* CO₂ pada saat purifikasi dengan pemanasan lebih tinggi dibandingkan purifikasi pada suhu ruangan. Hal ini menunjukkan bahwa NaOH yang bersuhu tinggi dapat meningkatkan jumlah mol aktif pada NaOH yang dapat berdifusi dengan CO₂.



Gambar IV.10 Diagram Batang Pengaruh Rasio L/G dan Normalitas terhadap *Unit operation cost* Purifikasi pada Suhu Ruangan



Gambar IV.11 Diagram Batang Pengaruh Rasio L/G dan Normalitas terhadap *Unit Operation Cost* Purifikasi dengan Pemanasan

Dari hasil yang didapatkan, ada dua faktor yang mempengaruhi harga *unit operation cost*. Yang pertama adalah konsentrasi NaOH yang digunakan pada saat percobaan. Secara teoritis semakin tinggi konsentrasi NaOH yang digunakan, maka harga *unit operation cost*nya. Faktor yang kedua adalah % *removal CO₂*. Semakin tinggi % *removal CO₂*nya, secara teoritis harga *unit operation cost*nya akan semakin kecil.

Tetapi meningkatnya konsentrasi dari NaOH tidak menjadikan semakin berkurangnya harga *unit operation cost* seperti yang terlihat pada gambar IV.9 dan IV.10. Jumlah mol NaOH pada konsentrasi yang semakin besar dapat meningkatkan % *removal CO₂* karena semakin banyak mol aktif tersedia untuk terdifusi sampai lapisan *interface* biogas dan larutan NaOH, namun jumlah mol NaOH yang tidak bereaksi masih tersisa cukup banyak sehingga membuat *unit operation cost* meningkat. Untuk 0,3 N memiliki harga rata-rata tertinggi

dikarenakan % *removal* CO₂ yang kecil pada konsentrasi tersebut.

Jika membandingkan antara gambar IV.9 dan IV.10, didapatkan bahwa secara keseluruhan harga *unit operation cost* gambar IV.10 lebih baik dibanding gambar IV.9. Hal ini disebabkan % *removal* CO₂ purifikasi dengan pemanasan yang cenderung lebih baik dibanding purifikasi tanpa pemanasan.

Dari hasil percobaan, didapatkan % *removal* CO₂ tertinggi didapatkan dari L/G = 1:12,5 dengan konsentrasi CO₂ sebanyak 0.5 N dan dipanaskan sampai suhu 65°C. Setelah itu, gas yang sudah dipurifikasi dengan % *removal* CO₂ tertinggi diperiksa kandungannya menggunakan gas kromatografi dan hasilnya adalah sebagai berikut.

Tabel IV.6 Kadar Biogas Awal dari Sampah Sayuran Setelah Purifikasi

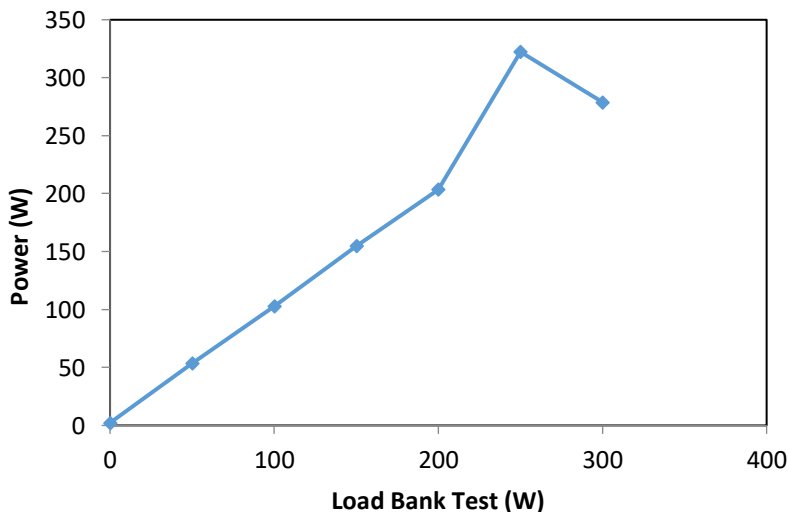
Komponen	Kadar (% volume)
CH ₄	82,7
CO ₂	2,01
O ₂ , N ₂ , H ₂ O, dan H ₂ S	15,29

IV.2.3 Pengujian Hasil Purifikasi Biogas Sebagai Umpan Generator dan Diuji Menggunakan *Load Bank Test*

Pada percobaan ini, gas CO₂ setelah proses *acid gas removal* selanjutnya melalui proses dehidrasi. Dimana terjadi peristiwa penyerapan pada lapisan permukaan atau antar fasa, dimana molekul dari suatu materi terkumpul pada bahan pengadsorpsi (adsorben). Langkah pertama dalam proses adsorpsi adalah kontak antara biogas dengan permukaan adsorben dalam percobaan ini digunakan *molecular sieve* 3Å. Setelah itu air yang terkandung pada biogas terserap melalui pori – pori adsorben. Proses kontak antara biogas pada permukaan adsorben berlangsung secara cepat sedangkan

penyerapan kadar air pada pori – pori adsorben berlangsung lambat sehingga waktu yang dibutuhkan pada proses adsorpsi dengan adsorben padat lebih lama daripada absorpsi. Pada proses adsorpsi akan terjadi reaksi eksotermis antara gas dan *molecular sieve* dimana molekul air akan terlepas dari gas kemudian teradsorp ke dalam pori – pori pada permukaan *molecular sieve*. Sehingga terjadi perubahan temperatur pada biogas yang dialirkan, dimana temperatur biogas akan menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur biogas sebelum berkontak dengan *molecular sieve*. Hal ini mengindikasikan bahwa *relative humidity* (RH) dari biogas turun.

Pada percobaan *load bank test* ini menggunakan biogas hasil purifikasi dengan menggunakan gas hasil purifikasi 0,5 N NaOH dengan rasio L/G = 1:12,5 karena memiliki % *removal* CO_2 tertinggi dan memiliki *unit operation cost* yang cukup rendah.



Gambar IV.12 Grafik Hasil *Load Bank Test* Biogas Terpurifikasi dengan Konsentrasi 0,5 N dan Rasio L/G = 1:12,5

Biogas hasil purifikasi dinaikkan tekanannya hingga 6 bar dengan dimasukkan ke dalam tangki penampung bertekanan

dengan volume 40,1L, dimana keluaran dari tangki penampung bertekanan dijaga pada 2,5 bar sebagai umpan dari generator listrik. Dengan asumsi hanya gas metana dan CO₂ yang terdapat dalam biogas terpurifikasi tersebut sehingga biogas terpurifikasi memiliki komposisi 82,7% mol CH₄, maka biogas tersebut memiliki nilai LHV sebesar 675,1588 kJ/mol. Dengan perhitungan untuk harga LHV per 1 mol CH₄ murni adalah 756,1416 kJ/mol, dimana perhitungan untuk mencari LHV campuran adalah dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$LHV = \sum_{i=1} x_i \cdot LHV_i$$

Keterangan: - x_i = fraksi mol komponen i

LHV_i = spesifik nilai pembakaran dari komponen i

Selama proses pembakaran biogas sebagai umpan generator, *load bank test* dinyalakan bertahap untuk setiap 50W dan diukur voltase dan kuat arus yang dihasilkan. Proses penyalan generator dilakukan selama 3,5 menit dan diasumsikan gas ideal.

Tabel IV.7 Efisiensi Biogas Terpurifikasi dengan Konsentrasi NaOH 0,5 N dan Rasio L/G=1:12,5

Mol Biogas	Energi Keluar (kWh)	Energi Keluar (kJ)	Energi Masuk (kJ)	Efisiensi (%)
4,773073	0,32228	1160,208	3222,582	36

(halaman sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian studi pemanfaatan sampah kota menjadi energi terbarukan listrik-biogas, dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, didapatkan biogas *feed* sampah sayuran dengan komposisi CH₄ sebesar 46,45%, CO₂ 22,87%, dan sisanya merupakan campuran gas (O₂, N₂, CO, H₂ dan H₂S) sebesar 30,68% dengan produksi biogas/kg *feed* sebesar 0,04013 Nm³/kg *feed* (0,4013 Nm³/kg COD *feed*). Produksi biogas ini masih belum dapat menggantikan produksi biogas dari kotoran sapi sebesar 0,04852 Nm³/kg *feed* (0,4798 Nm³/kg COD *feed*).
2. Secara keseluruhan, purifikasi dengan pemanasan menghasilkan % *removal* CO₂ yang lebih tinggi dibanding purifikasi tanpa pemanasan dimana biogas yang dipurifikasi dengan pemanasan mempunyai komposisi CH₄ 82,7%, CO₂ 2,01%, dan gas lain (O₂, N₂, H₂O, H₂S) 15,29%.
3. Berdasarkan studi secara teknis dan ekonomis didapatkan bahwa biogas terpurifikasi dengan NaOH 0,5 N dan dengan perbandingan L/G=1:12,5 dengan pemanasan memiliki % *removal* CO₂ terbesar, yakni 94,88%, sedangkan biogas terpurifikasi dengan NaOH 0,5N dan dengan perbandingan L/G=1:12,5 dengan proses pemanasan memiliki nilai yang ekonomis karena harga *unit operation cost* cukup rendah, yaitu sebesar Rp 4.163,63/ liter CO₂ terabsorpsi.
4. Berdasarkan percobaan *load bank test*, didapatkan potensi generasi listrik yang dapat dihasilkan dari 4,773073 mol biogas adalah 3222,582 kJ dengan efisiensi sebesar 36%.

V.2 Saran

1. Melakukan variasi beberapa suhu untuk mendapatkan suhu optimal NaOH pada proses purifikasi.
2. Memodifikasi alat dengan menambahkan P,T sensor dan *flowrate* transmitter pada tangki biogas bertekanan untuk mengevaluasi kerja gas generator.

(halaman sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Boyce, Meherwan. P., *Gas Turbine Engineering Handbook 2nd Edition.*, Gulf Professional Publishing, Boston, 2002.
- Coskun, C., Akyuz, E., Oktay, Z., and Dincer, I., *Energy Analysis of Hydrogen Production Using Biogas – Based Electricity*, Science Direct, 36, 11418 – 11424, 2011.
- Engineering Data Book*, GPSA 11th Edition (Electronic) Vol. I & II Section 1 – 26, Gas Processors Association, Oklahoma, 1996.
- Herawati, Dewi. A., Wibawa, Arif. D., and Fitriyawati., Utya., *The Impact of Solvent of Absorbtion CO₂ from Biogas Vinasse*, 2014.
- Himabindu, M. and Ravikrishna, R. V., *Performance Assessment of a small Biogas – Fuelled Power Generator Prototype*, Scientific & Industrial Research Vol. 73, 781 – 785, 2013.
- Huertas, J. I., Giraldo, N., and Izquierdo, S. *Removal of H₂S and CO₂ from Biogas by Amine Absorption*, 2011.
- Kang, Do Won., Kim, Tong Seop., Hur, Kwang Beom., and Park, Jung Keuk. *The Effect of Firing Biogas on the Performance and Operating Charateristics of Simple and Recuperative Cycle Gas Turbine Combined Heat and Power Systems*, Applied Energy, 93, 215 – 228, 2011.
- McCabe, W. L., and Smith J. C., Harriott, P. *Unit Operation of Chemical Engineering 4th Edition.*, McGraw-Hill, Inc, New York, 1985.
- Parrish, William. R., and Kidnay, Arthur. J., *Fundamentals of Naturan gas Processing.*, Taylor & Francis Group, London, 2006.
- Seghezzo, Lucas., *Anaerobic Treatment of Domestic Wastewater in Subtropical Regions*, 2004.
- Somehsaraei, H. N., Majoumerd, M. M., Breuhaus, P., and Assadi, M., *Performance Analysis of a Biogas – Fueled*

Micro Gas Turbine Using a Validated Thermodynamic Model. Applied Thermal Engineering, 66, 181 – 190, 2013.

Suyitno, N., and Dharmanto, M., *Teknologi Biogas: Pembuatan, Operasional, dan Pemanfaatan.*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2010.

Tippayawong, N., and Thanompongchart, P., *Biogas Quality Upgrade by Simultaneous Removal of CO₂ and H₂S in a Packed Column Reactor*, Energy, 35, 4531 – 4535, 2009.

PENJELASAN NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
BM	berat molekul	gram/mol
N	normalitas	N
m	massa	gram
ρ	densitas	gram/liter
P	tekanan	bar
V	voltase	volt
I	arus	ampere
P	<i>power</i>	watt
μ	efisiensi	%
L/G	Liquid to gas ratio	l/m^3
LHV	Nilai pembakaran spesifik	kJ/mol
x	Fraksi mol	

(halaman sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN A

DATA HASIL PENELITIAN

Tabel A.1 Data Hasil Penelitian Produksi Gas per Hari dari
Kotoran Sapi

Hari	Waktu	Tinggi Tangki Penampung (cm)			
		1	2	3	4
1	16:00:00	45	52	92	38
2	15:00:00	63	71	109	55
3	18:45:00	37	37.5	37.5	37.5
4	07:30:00	37	37	43	42
	19:30:00	46	46	54	53.5
5	06:30:00	55.7	56.3	63.7	63.3
	18:30:00	66.6	66.6	77	77.4
	21:30:00	36.5	38.5	39.5	38.5
6	07:45:00	38.2	38.2	46	46
	21:00:00	53	54	62	62
7	07:00:00	62.6	63	73.6	73.5
8	11:00:00	72.5	72	84	84.5
	14:00:00	36.5	36	39	39
9	16:05:00	63.5	63	74	73.5

	19:00:00	36	36.5	37	37
10	14:00:00	51.5	52	61	61.5
	17:00:00	36	37	38	39
11	15:00:00	59	60	69	69
12	13:00:00	83	83	102	102
	16:00:00	36	36	38	37.5
14	10:30:00	82.5	83	103	102.5
	13:30:00	36.5	36.5	39	39
15	15:45:00	66	65.5	80.5	78.35
16	14:00:00	88	86	110	112
	17:00:00	36.5	35	36	36.5
17	14:00:00	58.5	58	69.5	70
18	11:20:00	72	71.5	87.5	88.5
19	10:16:00	88	86	110	112
	15:00:00	36	36	38	38
20	14:10:00	57.75	58	62	62

Tabel A.2 Data Hasil Penelitian pH

Day	Time	pH	T (°C)	h (cm)
0	07:13:00	7.33	29.5	23.3
1	07:22:00	7.16	30.1	25.6
2	07:14:00	7.03	29.8	30.4
3	07:38:00	6.95	30.7	30.7
4	06:30:00	6.94	30.2	35.9
5	07:02:00	6.84	30.3	39.4
6	07:09:00	6.9	29	40.5
7	07:18:00	6.84	30.7	40.9
8	07:18:00	6.93	29.5	42.1
9	07:03:00	6.93	28	48.1
10	07:04:00	6.95	29.1	48.6
11	07:10:00	6.88	29.6	49.5
12	07:08:00	6.89	30	48.7
13	07:05:00	6.91	29.2	48.1
14	07:06:00	6.97	29.6	46.8
15	07:14:00	7	31.1	45.6

16	07:10:00	6.98	30.5	44.5
17	07:08:00	7.07	30.2	41.5
18	07:21:00	7.12	30	39.7
19	07:23:00	7.13	29.9	38.4
20	07:19:00	7.1	29.5	36.4
21	07:23:00	7.06	29.3	33.8
22	07:14:00	7.08	29.8	32.3
23	07:09:00	7.14	30.1	31.5
24	07:12:00	7.05	30.6	30.7
25	07:04:00	7	31.2	29.9
26	07:11:00	6.97	30.2	30
27	07:16:00	6.98	30.1	38.4
28	07:13:00	7.01	30.5	38.4

Tabel A.3 Data Hasil CO₂ *Removal* dengan Berbagai L/G Rasio dan Normalitas NaOH

Normalitas	L/G	% CO ₂	pH	
			sebelum	sesudah
0,1	1:12,5	5,53	12,34	10,02
	1:18,75	8,27		10,37
	1:25	9,34		10,53
0,3	1:12,5	6,0	12,74	11,48
	1:18,75	5,6		11,45
	1:25	4,4		12,07
0,5	1:12,5	1,07	12,96	12,59
	1:18,75	3,3		12,64
	1:25	4,27		12,66

Tabel A.4 Data Hasil Penelitian *Gas Engine* dengan Konsentrasi NaOH dan L/G Terbaik

Normalitas	L/G	Max Power	LHV (kJ/mol)	Energy out (kwh)	Mol biogas
0,1	1:12,5	308,28	706,1659	0,01798	2,3865

(halaman sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN B PERHITUNGAN

1. Perhitungan Laju Produksi Gas per Hari

Contoh perhitungan dari Selasa, 22 Desember 2015
sampai Rabu, 23 Desember 2015.

D tanki 1100 L = 91 cm

1 Hari = 24 jam

$$\Delta t = t_{@23Des} - t_{@22Des} = 16.35 - 16.00 = 24.35$$

$$\Delta h = h_{@23Des} - h_{@22Des} = 29 - 21,5 = 7,5 \text{ cm}$$

$$LPD = \frac{\Delta t}{24 \text{ jam}} \times \Delta h \times \pi \times \frac{(D \text{ tanki})^2}{4} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ cm}^3}$$

$$= 47,6216$$

2. Perhitungan Pengenceran Absorban Padat (NaOH, KOH, Ca(OH)₂, Na₂CO₃, K₂CO₃, CaCO₃).

Contoh perhitungan pengenceran NaOH 0.1N

a) Mencari Molaritas NaOH

$$N = M \times e$$

Dimana : N = Normalitas

M = Molaritas

e = Bilangan Ekuivalen

$$0.1 = M \times 1$$

$$M = \frac{0.1}{1}$$

$$M = 0.1$$

b) Mencari massa NaOH yang digunakan

Massa NaOH yang dibutuhkan untuk membuat larutan

NaOH 0.1 N sebanyak 60 L

$$M = \frac{Gr}{BM} \times \frac{1000}{Volume (mL)}$$

$$0.1 = \frac{Gr}{40} \times \frac{1000}{60000}$$

$$Gr = 240 \text{ gram}$$

Jadi, massa NaOH yang dibutuhkan untuk membuat larutan NaOH 0.1 N adalah 240 gram

3. Perhitungan % *Recovery* CO₂

Contoh % *Recovery* pada absorban NaOH 0.1 N

Kadar CO₂ awal = 17,6 %

Kadar CO₂ akhir = 0,0107%

%*Recovery*

$$= \frac{Kadar CO_2 \text{ awal} - kadar CO_2 \text{ akhir}}{kadar CO_2 \text{ awal}} \times 100$$

$$\%Recovery = \frac{0,176 - 0,0107}{0,176} \times 100$$

$$\%Recovery = 93,67\%$$

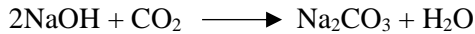
4. Perhitungan absorban yang bereaksi dengan CO₂ berdasarkan pH larutan

Contoh perhitungan pada NaOH

pH awal = 12.52

pH akhir = 8.43

Reaksi yang terjadi :



a) Mencari pOH

$$\text{pOH awal} = 14 - 12.96 = 1.48$$

$$\text{pOH akhir} = 14 - 8.43 = 5.57$$

b) Mencari konsentrasi OH^-

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$$

$$\text{OH}^- \text{ awal} = 1/10^{-1.04}$$

$$= 0.0912 \text{ M}$$

$$\text{OH}^- \text{ akhir} = 1/10^{-1.41}$$

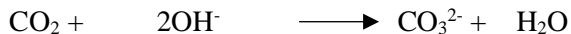
$$= 0.0389 \text{ M}$$

$$\text{OH}^- \text{ yang bereaksi} = \text{OH}^- \text{ awal} - \text{OH}^- \text{ akhir}$$

$$= 0.0523 \text{ M}$$

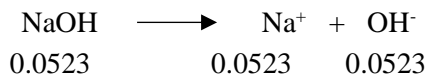
*Karena volume sample sama maka M dianggap sebagai mol

c) Mencari mol NaOH yang bereaksi melalui kesetaraan mol reaksi



m	x	0.0523	-	y
r	0.02615	0.0523	0.02615	0.02615
s	x-0.02615	2.69×10^{-6}	0.02615	y+0.02615

Karena ion OH^- yang bereaksi didapatkan dari NaOH , maka didapatkan NaOH yang bereaksi menurut reaksi berikut :



Sehingga didapatkan NaOH yang bereaksi sebanyak 0.033 mol dalam satu kali siklus absorpsi di dalam *packed column*.

5. Perhitungan Unit Operation Cost

Dari perhitungan 4 didapatkan mol NaOH yang bereaksi

a) Menghitung massa NaOH

Mol x BM

$$0.0523 \times 40 = 2.0917 \text{ gram}$$

b) Menghitung harga absorban

Harga NaOH/gram = Rp 15

$$\begin{aligned} \text{Harga NaOH} &= \text{Rp } 15 \times 2.0917 \text{ gram} \\ &= \text{Rp } 31,38 \end{aligned}$$

c) Menghitung massa CO₂ yang terabsorb

Fraksi mol CO₂ awal dan akhir dilihat dari hasil analisa orsat

Komponen	Fraksi awal	Volume (mL)	Mol Awal	Fraksi akhir	Mol Akhir	Massa Akhir
CO ₂	0.176	7,3	0.0002881	0.0107	0.0000182	0.0008022
CH ₄	0.824	42,7	0.0016854	0.9893	0.0016854	0.0270339
Total	1	50	0.0019735	1	0.0017036	0.0278361

$$\text{Perubahan Massa CO}_2 = 0.0000118 \text{ kg}$$

$$\text{Massa} = \text{Massa CO}_2 : \text{Densitas CO}_2$$

$$= 0.0000118 \text{ kg} : 0,00198 \text{ kg/L}$$

$$= 0.0059993 \text{ L}$$

d) Unit operation Cost

Harga / Volume CO₂ terabsorb

$$= \text{Rp } 31,38 / 0.0059993 \text{ L}$$

$$= \text{Rp } 5229.86 / \text{NL CO}_2 \text{ Terabsorb}$$

6. Perhitungan Efisiensi Overall (untuk Biogas Terpurifikasi dengan NaOH 0,1N dan Rasio L/G=1:12,5)

$$\mu_{Overall} = \frac{Energy\ Out}{Energy\ in} \times 100\%$$

Energi masuk didapatkan dari Heating Value Biogas (LHV)

Pada percobaan dengan absorban NaOH didapatkan konsentrasi CO₂ akhir yang terkandung pada biogas adalah 5,53% jika diasumsi Biogas hanya mengandung CO₂ dan CH₄ maka dapat dihitung nilai Heating Value dari biogas. Berdasarkan perhitungan nilai heating value biogas adalah 706.17 kJ/mol.

- a) Mencari banyaknya penggunaan biogas selama t menit (mol)

Tekanan tabung pada $T_0 = 4$ barg $= 4 \times 10^5$ Pa

Tekanan tabung pada $T_5 = 2,5$ barg $= 2,5 \times 10^5$ Pa

Volume Tabung = 40.1 L = 0.0401 m³

Temperatur = 30 C = 303.15 K

$R = 8.314 \text{ m}^3 \text{ Pa mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Menggunakan persamaan gas ideal

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{PV}{RT}$$

1. Mol Biogas pada saat T_0

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$n = \frac{(4 \times 10^5) + 0.0401}{8.314 \times 303.15}$$

$$n = 7.9762 \text{ mol}$$

2. Mol Biogas pada saat T_5

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$n = \frac{(2,5 \times 10^5) + 0.0401}{8.314 \times 303.15}$$

$$n = 5.5897 \text{ mol}$$

3. Mol Biogas yang digunakan selama t menit
 = Mol Biogas pada saat T_0 – Mol Biogas pada saat T_t

$$= 2,3865 \text{ mol}$$

b) Energi masuk = LHV x mol biogas

$$= 706,1659 \times 2,3865$$

$$= 1685,29 \text{ kJ}$$

c) Energi keluar berupa maximum power yang dihasilkan dalam 5 menit

$$\text{Maximum Power} = 308,28 \text{ Watt}$$

$$\text{Energi Out} = \frac{P}{1000} \times t$$

$$= \frac{308,28}{1000} \times \frac{3,5}{60}$$

$$= 64,7388$$

d) Menghitung Efisiensi Overall

$$\mu_{Overall} = \frac{\text{Energy Out}}{\text{Energy In}} \times 100\%$$

$$= \frac{64,7388}{1685,29} \times 100\%$$

$$\mu_{Overall} = 36\%$$

LAMPIRAN C

GAMBAR PENELITIAN



Aktivasi Molucular Sieve



Molecular Sieve Packed Column



*Pembuatan Larutan untuk
Orsat Analyzer*



Peralatan Analisa Orsat



Tangki *Feed* Absorban



Tangki *Effluent* Absorban



Kompresi 8 Barg dengan
Air Compressor yang
dimodifikasi



Raschig Ring *Packed Column*



*Connector antara
kompresor dan tabung
gas*



Rotameter Gas dan Liquid



*Regulator Gas untuk
Load Bank Test*



Sampling Point dan Tangki Buffer



Rangkaian *Load Bank*
Test



Gas Generator

RIWAYAT PENULIS



Muhammad Fadlan Minallah adalah anak pertama dari dua bersaudara. Lahir di kota Bontang tanggal 9 September 1993, penulis menjalani dunia pendidikan formal di TK Vidatra, SD Vidatra, SMP Vidatra, dan SMA Vidatra, lalu melanjutkan kuliah di Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama berkuliah, penulis aktif sebagai pengurus kepanitiaan acara tahunan jurusan Teknik Kimia FTI-ITS, yaitu sebagai *Vice President*

of Chernival 2014. Penulis juga pernah melakukan kerja praktik di PT Badak LNG Bontang dengan tugas khusus **"Menganalisis Waktu Heating pada Drier 2C-2 Train EFGH"**. Kegemaran penulis untuk menjaga kelestarian lingkungan hidup dan kesejahteraan masyarakat akan kualitas hidupnya memotivasi penulis untuk meneliti di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa untuk mengambil judul **Pra-Desain Pabrik "Sodium Karbonat dari CO₂ Flue Gas Pabrik Semen"** dan Tugas Akhir Skripsi **"Studi Pemanfaatan Sampah Kota Menjadi Energi Terbarukan Listrik-Biogas"**. Tulisan dari penelitian ini yang akan menjadi janji bakti penulis yang seterusnya mengabdikan bagi Bangsa dan Almamater. Untuk korespondensi dapat menghubungi e-mail penulis di mfadlanm@gmail.com.